

Mémoire de Fin d'Etudes

Master 2 Mention Biologie Végétale (BV) Parcours : Gestion de la santé des plantes

Année universitaire 2019-2020

**Optimisation du contrôle du papillon ravageur *Duponchelia fovealis* Zeller, 1847
(Lepidoptera : Crambidae) en horticulture**

Par : Amélie Baillou

Soutenu à Angers le : 09/09/2020

Maître de stage :

Tom Hebbinkuys : Chargé d'expérimentation à
l'Arexhor Pays de la Loire

Tuteur enseignant :

Yann Tricault : enseignant- chercheur en
écologie appliquée à la protection des plantes à
l'institut Agro – Agrocampus Ouest



Crédits Photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 12/08/2020

Mémoire de Fin d'Etudes

Master 2 Mention Biologie Végétale (BV) **Parcours : Gestion de la santé des plantes**

Année universitaire 2019-2020

**Optimisation du contrôle du papillon ravageur *Duponchelia fovealis* Zeller, 1847
(Lepidoptera : Crambidae) en horticulture**

Par : Amélie Baillou

Soutenu à Angers le : 09/09/2020

Maître de stage :

Tom Hebbinkuys : Chargé d'expérimentation à
l'Arexhor Pays de la Loire

Tuteur enseignant :

Yann Tricault : enseignant- chercheur en
écologie appliquée à la protection des plantes à
l'institut Agro – Agrocampus Ouest



Crédits Photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 12/08/2020

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) Amélie Baillou, déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature : Le 28/08/2020, à Angers,



L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

Consulter la licence creative commons complète en français :

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant permis la réalisation de ce mémoire. Les équipes de l'Arexhor Pays de la Loire et du BHR pour leur accueil.

Je remercie Alain Ferre et Tom Hebbinckuys pour m'avoir donné leur confiance et m'avoir choisie pour ce projet.

Je remercie mon maître de stage Tom Hebbinckuys pour le temps précieux qu'il m'a accordé, pour m'avoir guidée dans ce stage, pour ses conseils, pour m'avoir fait réfléchir et avoir répondu à mes questions, m'avoir soutenue et corrigée lors de la rédaction du rapport. Un grand merci aussi pour m'avoir partagée son expérience de chargé d'expérimentation et m'avoir accompagné lors des chasses aux papillons et des diverses notations.

Je remercie également l'équipe de l'Arexhor PL : Alain Ferre, Tom Hebbinckuys, Maud Tragin, Julie Egon, Guillaume Goanvic et Alicia Fougère pour leur confiance et pour avoir partagée leurs expériences du terrain en horticulture ornementale et au tarot. Je gagne en expérience, en réflexion ainsi qu'en autonomie grâce à eux.

Je remercie tout particulièrement Alicia pour le temps qu'elle m'a accordée lors des notations et des chasses aux papillons ainsi que pour la relecture de mon dossier.

Un grand merci à mes collègues stagiaires Nina et Marie avec qui nous avons fait toutes sortes de travaux dans la joie et la bonne humeur. Merci de m'avoir accompagnée lors de mes longues chasses aux papillons pour en ramener seulement quelques-uns ainsi que pour les relectures de ce rapport.

Je remercie mon tuteur de stage, Yann Tricault, pour ses conseils avisés et pour s'être tenu disponible lors de cette période particulière.

Je tiens à remercier les producteurs, chez qui je suis allée effectuer mes chasses aux papillons, parfois toutes les semaines, merci de m'avoir accueilli dans leur structure.

Enfin, je remercie mon amie Lucile pour le temps qu'elle a consacré à relire chaque partie une à une de ce mémoire. Ainsi que mon entourage pour avoir été présent pendant ces 6 mois de stage.

Table des matières

TABLE DES MATIERES

GLOSSAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

TABLE DES ANNEXES

TABLE DES FIGURES

TABLE DES TABLEAUX

CONTROLE DE DUPONCHELIA FOVEALIS

1.	Présentation de l'entreprise	1
2.	Introduction	2
2.1.	Contexte.....	2
2.2.	<i>Duponchelia fovealis</i>	3
2.2.1.	Généralités.....	3
2.2.2.	Cycle Biologique.....	3
2.2.3.	Plantes hôtes et dommages sur la plante.....	4
2.2.4.	Moyens de contrôle.....	5
a)	Piégeage.....	6
b)	Biocontrôle.....	8
c)	Plantes de service.....	10
2.3.	Objectifs et problématiques.....	11
3.	Matériel et Méthode	12
3.1.	Plantes pièges.....	12
3.1.1.	Test de plusieurs plantes pièges.....	12
3.1.2.	Test en culture de cyclamens.....	13
3.1.3.	Tests statistiques.....	14
3.2.	Pièges lumineux.....	14
3.2.1.	Détermination du type de piège.....	14
3.2.2.	Détermination de longueurs d'onde.....	16
3.2.3.	Tests statistiques.....	16
3.3.	Auxiliaires.....	16
4.	Résultats	17
4.1.	Plantes pièges.....	17
4.2.	Pièges lumineux.....	19
5.	Discussion	21
5.1.	Plantes pièges.....	21
5.2.	Pièges lumineux.....	24
6.	Conclusions et perspectives	27
7.	Bibliographie et Sitographie	29

ANNEXES

Glossaire (Les Mots à définir sont spécifiés dans le texte d'un astérisque (*).)

Auxiliaire : « Organisme détruisant les populations de nuisibles dans les cultures » (INRA (1999). Insectes auxiliaires : la lutte biologique. [24/06/2019] <http://www7.inra.fr/opie-insectes/luttebio.htm>)

Ectotherme : « Se dit d'un animal dont la température centrale est engendrée seulement par les échanges thermiques avec son environnement» (Larousse. Définition ectotherme. [24/08/2020]/
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ectotherme/27781>).

Endoparasitoïdes : « Parasite qui vit sur au sein de son hôte et au dépend de celui-ci, et le tue. Voir aussi endoparasite. (d'après Gullan et Cranston, 1999) » Guenard B. 2016. Copie de 'NCSU - Glossaire Formicidae, Benoit Guenard `. Encyclopédie.FR. [24/08/2020]/<https://www.encyclopedie.fr/local/692>.

Holométabole : « Développement au cours duquel la forme du corps change brutalement au cours du stade pupal, métamorphose complète, comme dans le groupe des Hyménoptères. (d'après Gullan et Cranston, 1999) » (G Guenard B. 2016. Copie de 'NCSU - Glossaire Formicidae, Benoit Guenard `. Encyclopédie.FR. [24/08/2020]/<https://www.encyclopedie.fr/local/692>)

Idiobionte : « L'hôte ne poursuit pas son développement après la ponte (injection de poison ou stades particuliers qui ne s'alimentent pas (oeuf, nymphé) » (Jaloux B. (2017). Biologie et écologie des prédateurs et parasitoïdes. Cours méthode de lutte, Angers, 2020, 50 p)

Kairomone : « Substance chimique émise par un individu à l'intention d'un individu non spécifique et qui se révèle bénéfique pour l'organisme qui perçoit le signal, mais désavantageux pour l'émetteur. (d'après Gullan et Cranston, 1999 et Aron et Passera, 2000) » (Guenard B. 2016. Copie de 'NCSU - Glossaire Formicidae, Benoit Guenard `. Encyclopédie.FR. [24/08/2020]/<https://www.encyclopedie.fr/local/692>)

Koinobionte : « L'hôte poursuit son développement après la ponte. La quantité de nourriture disponible augmente» (Jaloux B. (2017). Biologie et écologie des prédateurs et parasitoïdes. Cours méthode de lutte, Angers, 2020, 50 p).

Parasitoïdes : « Organismes qui se développent sur ou dans un autre organisme unique appelé hôte, en tire sa nourriture et le tue, en résultat direct ou indirect de ce développement » (Eggleton P, Belshaw R (1992). Insect parasitoids: an evolutionary overview. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 337, 1–20.).

Phéromone : « Substance chimique émise par un individu et perçue par un autre individu de la même espèce chez lequel elle modifie la physiologie et/ou le comportement. (d'après Aron et Passera, 2000) » (Guenard B. 2016. Copie de 'NCSU - Glossaire Formicidae, Benoit Guenard `. Encyclopédie.FR. [24/08/2020]/<https://www.encyclopedie.fr/local/692>)

Plante de service : « Les plantes de services regroupent des espèces végétales cultivées le plus souvent dans la même parcelle agricole que la culture de rente, en pur ou en association spatiale ou temporelle, en interculture ou en couvert pérenne, et susceptibles de rendre différents services à vocation écosystémique. Leur culture ne conduit pas à obtenir un produit agricole directement commercialisable ou auto-consommable (grain, racine, fourrage...), mais d'y contribuer à court, moyen ou long terme en mobilisant des processus biologiques du sol et des plantes. » (GEVES. (2017). Qu'est-ce qu'une plante de services ? [03/01/2020]/<https://www.geves.fr/expertises-varietes-semences/plantes-de-services/quest-quune-plante-de-service/>).

Prophylactique : « Qui préserve la santé de tout ce qui pourrait lui être nuisible. » (CNRTL. (2012). Définition prophylactique. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales.[25/08/2020]/<https://www.cnrtl.fr/definition/prophylactique>)

Protection biologique intégrée (PBI) : « système de lutte contre des organismes nuisibles qui utilise un ensemble de méthodes satisfaisant aux exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance » (FERRON P. (1999). Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. Dossiers de l'Environnement de l'INRA, 19, 19-28.)

Scotophase : « La scotophase correspond à la période sombre, obscure, de la photopériode de l'organisme et s'oppose à la photophase. La nuit ou période nocturne est assimilé à la scotophase.» (Aquaportal (2020). Définition scotophase. [15/01/2020]/<https://www.aquaportal.com/definition-12535-scotophase.html>)

Voltinisme : « Nombre de générations d'une espèce (d'insectes) en un an. » (Meyer C., ed. sc., (2020), Dictionnaire des Sciences Animales. [On line]. Montpellier, France, Cirad. [24/08/2020]/<http://dico-sciences-animaux.cirad.fr/>)

Liste des abréviations

HIPV : Herbivore Induced Plant Volatile
IRAC : Insecticide Resistance Action Committee
LED : Light Emitted Diode
PBI : Protection Biologique Intégrée

Table des annexes

Annexe I : Echelle de notation des cyclamens

Annexe II : Spectres de longueurs d'onde des tubes néons utilisés lors de l'essais piégeage lumineux.

Annexe III : Exemple statistique de l'ANOVA sur le test de plusieurs plantes pièges.

Annexe IV : Exemple statistique d'un test de Mann-Whitney sur le test en culture de cyclamens.

Table des figures

Figure 1 : Répartition des stations d'expérimentation et laboratoire dans les 6 unités régionales de l'ASTREDHOR en France.

Figure 2 : Organigramme du personnel de l'AREXHOR Pays de la Loire.

Figure 3 : Relation entre la protection biologique, la lutte biologique et le biocontrôle.

Figure 4 : Photo d'un œuf de *Duponchelia fovealis* sur une feuille d'heuchère variété 'Sweet tart'.

Figure 5 : larves de *Duponchelia fovealis* sur une feuille de kalanchoë.

Figure 6 : Chrysalide de *Duponchelia fovealis* sur carotte.

Figure 7 : Cocon de *Duponchelia fovealis*.

Figure 8 : Adulte femelle de *Duponchelia fovealis*.

Figure 9 : Adulte mâle de *Duponchelia fovealis*.

Figure 10 : Piège à phéromones delta capturant des adultes *D.fovealis* chez un producteur.

Figure 11 : Piège à phéromones entonnoir.

Figure 12 : Piège à eau utilisant des phéromones de *D.fovealis*.

Figure 13 : *Dalotia coriaria* adulte.

Figure 14 : Espèce de *Campoletis* retrouvée chez les producteurs : *C. crassicornis*.

Figure 15 : Cocon et chrysalide de *Duponchelia fovealis* (gauche) et cocon et chrysalide de *D.fovealis* parasités par une espèce de *Campoletis* (droite).

Figure 16 : Disposition des différentes espèces de plantes utilisées pour le premier test de plantes pièges.

Figure 17 : Plan du premier test de plantes pièges.

Figure 18 : Culture de 200 cyclamens avec 8 Heuchères plantes pièges.

Figure 19 : Plan de l'essai en culture de cyclamen.

Figure 20 : *Heuchera* sp var. 'Sweet Tart'.

Figure 21 : *Heuchera* sp var. 'Blondie'.

Figure 22 : piège de type « plat » et type « V » associé au tube néon UV-A.

Figure 23 : Spectre des longueurs d'onde du tube Néon UV-A utilisé dans le test 1.

Figure 24 : Spectre des longueurs d'onde du tube Néon de la même référence qu'une ampoule à tester fonctionnant chez un producteur utilisé dans le test 2 et 3.

Figure 25 : Plan du test 1 utilisant des pièges lumineux.

Figure 26 : Disposition des différents pièges lumineux utilisés dans le test 2.

Figure 27 : Plan du test 2 pièges lumineux.

Figure 28 : Spectre du piège fonctionnant chez les producteurs servant de témoin positif dans le test 2.

Figure 29 : piège lumineux à grilles électrifiées fonctionnant chez les producteurs, utilisé comme témoin positif dans le test 2.

Figure 30 : Plan du test 3 piège lumineux.

Figure 31 : Plan du test 4 : détermination de la longueur d'onde.

Figure 32 : Disposition des différents pièges lumineux utilisés dans le test 4.

Figure 33 : Représentation des spectres associées à chaque tube néon ou combinaison de tubes néons et leur concordance entre eux et avec les récepteurs d'une espèce de Pyralidae, *A.transitella*.

Figure 34 : Histogramme représentant le nombre d'œufs retrouvés sur la plante et le substrat de chaque espèce de plante testée lors des deux notations.

Figure 35 : Histogramme représentant le nombre d'œufs retrouvés sur les différentes espèces de plantes testées lors des deux notations.

Figure 36 : Histogramme représentant la somme du nombre d'œufs, de larves et de cocons retrouvés sur 72 cyclamens, 4 heuchères 'Blondie' et 4 heuchères 'Sweet Tart' lors de 6 dates.

Figure 37 : Histogramme représentant la somme du nombre de larves retrouvées sur 72 cyclamens, 4 heuchères 'Blondie' et 4 heuchères 'Sweet Tart' lors de 6 dates.

Figure 38 : Histogramme représentant le nombre de *D.fovealis* adultes piégés lors du premier test en fonction du type de piège en présence ou non d'un néon UV-A.

Figure 39 : Histogramme comparant le nombre de *D.fovealis* adultes mâles et femelles piégés en présence de néons UV-A, lors du test 2, en fonction du type de piège.

Figure 40 : Histogramme comparant le nombre de *D.fovealis* adultes mâles et femelles piégés en présence de néons UV-A, lors du test 3, en fonction du type de piège.

Figure 41 : Histogramme comparant le nombre d'individus piégés pour chaque modalité du test 4, en fonction de la/les longueurs d'onde utilisées.

Figure 42 : Histogramme cumulé à 100% représentant la part d'individus piégés lors du test 4, en fonction de leur ordre ou leur famille, lorsqu'elle a pu être identifiée, pour chaque longueur d'onde utilisée.

Figure 43 : Histogramme comparant le nombre d'individu de l'ordre des Lépidoptères et appartenant au groupe des pyrales et des tordeuses pour chaque modalité du test 4, en fonction de la/les longueurs d'onde utilisées.

Table des tableaux

Tableau I : Tableau des lâchers de *D.fovealis* adultes réalisés dans la culture de cyclamens.

Tableau II : Dates et durées d'éclairage du test 1.

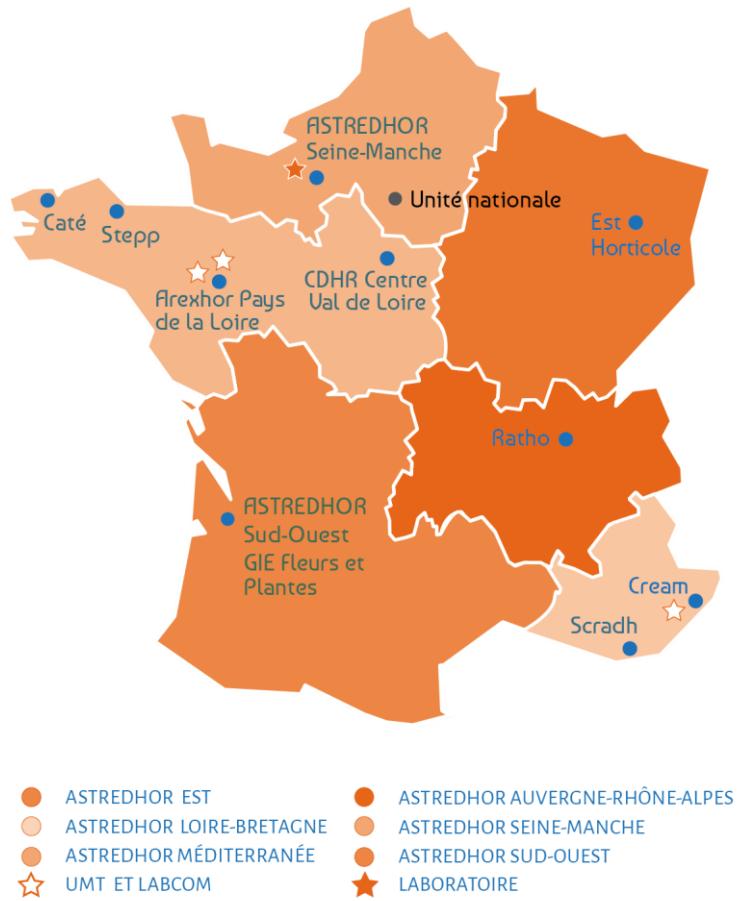


Figure 1: Répartition des stations d'expérimentation et laboratoire dans les 6 unités régionales de l'ASTREDHOR en France (ASTREDHOR Institut Technique de l'Horticulture, 2018)

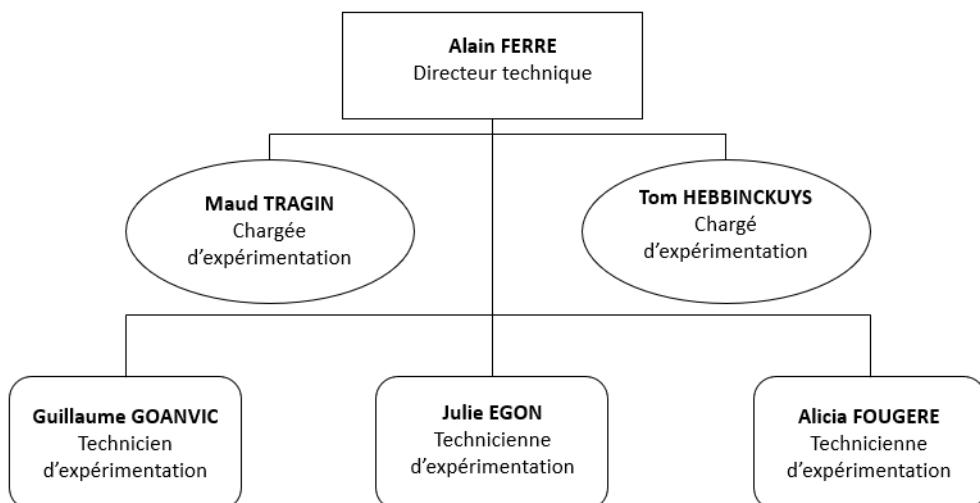


Figure 2 : Organigramme du personnel de l'AREXHOR Pays de la Loire
(inspiré du [livret d'accueil de l'Arexhor Pays de la Loire, 2019](#)).

Contrôle de *Duponchelia fovealis*

1. Présentation de l'entreprise

J'ai réalisé mon stage de fin d'étude de Master 2 à l'AREXHOR Pays de la Loire, l'Agence Régionale pour l'Expérimentation Horticole. Cette structure fait partie de l'institut technique en horticulture, ASTREDHOR.

Les missions de l'ASTREDHOR sont de fournir un accompagnement et une expertise aux entreprises horticoles, de fleuristerie et paysagistes et de développer des programmes de recherches et d'innovation afin de répondre aux différents besoins des professionnels. L'ASTREDHOR fournit des outils techniques, pratiques et économiques à ses adhérents, dans différents domaines de recherches et d'innovation qui sont : les systèmes alternatifs, l'accompagnement des transitions, l'ingénierie verte et les services écosystémiques, la valorisation industrielle, l'économie et les marchés mais aussi l'horticulture connectée ... L'ASTREDHOR comprenait en 2018, 1100 adhérents et 100 collaborateurs répartis dans les 6 unités régionales. Ces unités regroupent 10 stations d'expérimentation (Figure 1) (ASTREDHOR Institut Technique de l'Horticulture, 2018).

L'AREXHOR est l'une de ces stations d'expérimentation faisant partie de l'unité régionale ASTREDHOR Loire – Bretagne. L'AREXHOR, située aux Ponts-de-Cé (49), cœur du bassin de production angevin, a été créée en 2009. La station d'expérimentation possède plusieurs domaines d'expertise tels que l'entomologie agricole et notamment l'étude des ravageurs et leurs auxiliaires, l'interaction lumière/plante (éclairage LED), les techniques de paillage et d'aggradation des sols, l'utilisation de plantes de service et l'évaluation de biostimulant et de thé de compost... Les essais permettant de répondre à ces thématiques sont réalisés à la station ou chez les producteurs adhérents. Elle est équipée de 120 m² de serre chauffée, 600 m² de tunnels froids ou hors-gel, 10000 m² de plein air, d'une salle de culture servant à l'élevage et aux essais LED et d'un laboratoire pour l'identification entomologique, mycorhizienne et d'éventuels essais in vitro (ASTREDHOR Institut Technique de l'Horticulture)

L'équipe est dirigée par le directeur technique Alain Ferre et est composée de 5 personnels permanents (2 chargés d'expérimentation ainsi que 3 techniciens d'expérimentation) et de 4 stagiaires et apprentis lors de la saison (Figure 2).

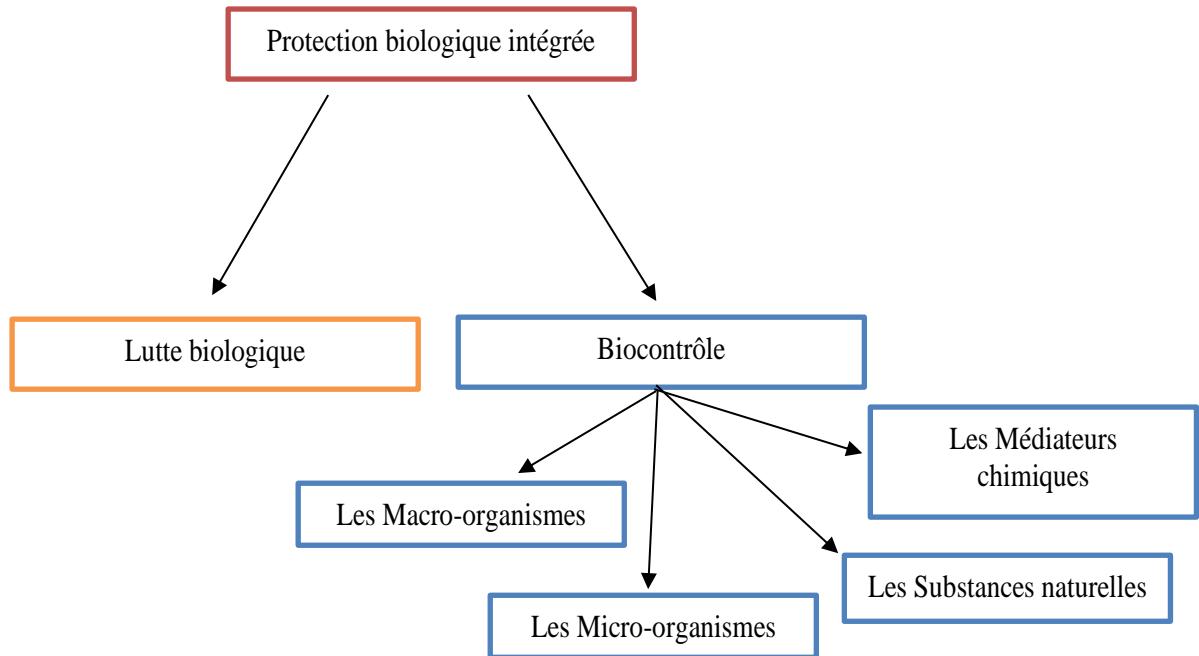


Figure 3 : Relation entre la protection biologique, la lutte biologique et le biocontrôle (Inspiré de la définition du Code rural et de la pêche maritime - Article L253-5 ; Fraval, 1999).

2. Introduction

2.1. Contexte

Avec la mondialisation, les échanges de matériel végétal entre pays sont de plus en plus fréquents. Ces échanges permettent l'entrée, dans de nouvelles régions, de bio agresseurs, qui sont appelés des ravageurs émergents (Bethke *et al.*, 2013). L'émergence de ces nouveaux bio agresseurs conduit à des méthodes de contrôle, parfois peu ou pas connues. Sans moyen de contrôle l'espèce peut envahir la région où il est apparu, devenant une espèce invasive. La recherche de moyens de contrôle devient d'autant plus importante dans ce cas. De plus, avec la mise en place du plan ECOPHYTO I en 2008 suivi du plan ECOPHYTO II en 2014 visant à diminuer de 50% les produits phytosanitaires d'ici 2025, il est important de développer des méthodes alternatives aux pesticides (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt and Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2015). Parmi ces leviers d'action, il existe la protection biologique intégrée (PBI)* comprenant la lutte biologique identifiée par l'Organisation Internationale de Lutte Biologique (OILB) en 1971 comme « l'utilisation d'organismes vivants ou de leur produits pour prévenir ou réduire les dégâts causés par les ravageurs aux productions végétales » ainsi que le biocontrôle (Fraval, 1999). Le biocontrôle se définit par l'utilisation d'agents et de produits issus de mécanismes naturels afin de lutter contre les ennemis des cultures. Cela comprend les macro-organismes (insectes invertébrés, acariens ou nématodes), les microorganismes (champignons, bactéries et virus), les médiateurs chimiques (phéromones* et kairomones*) ainsi que des substances naturelles d'origine végétale, minérale ou animale (Code rural et de la pêche maritime - Article L253-5) (Figure 3). La PBI s'installe de plus en plus sous serre avec la réduction des produits phytosanitaires (Tourtois and Grieshop, 2015). En effet, la vente de produits de biocontrôle croît ces dernières années (+8,5% en 2019), la part du biocontrôle sur le marché de la protection des plantes est de 11% en 2019 (MA Carré, 2020).

Entre 2014 l'AREXHOR Pays de la Loire a mené un projet nommé DIAPLASCE 1 (diagnostic et plantes de services pour les cultures spécialisées) ayant pour but de développer de nouvelles méthodes de production en diminuant les produits phytosanitaires et viables économiquement. Ce projet avait pour but de mettre au point une évaluation rapide de l'infestation en ravageurs des cultures et d'identifier des plantes de service* potentielles. Les plantes de service sont des plantes intégrées à la culture, utiles au développement ou à la gestion des ravageurs dans la culture. Ce projet a été poursuivi par DIAPLASCE 2 pour 3 ans, cette année 2020 est la dernière du projet. Ce deuxième projet a pour objectif de recueillir des connaissances biologiques et de gestion de 3 ravageurs émergents : *Duponchelia fovealis*, *Heliothrips haemorrhoidalis* et *Otiorhynchus sulcatus*.

Duponchelia fovealis est considéré comme l'un des ravageurs les plus redoutés par les producteurs, de par son fort impact économique sur les cultures ornementales d'intérêt (Bethke *et al.*, 2013). Ce papillon nocturne est le sujet de ce dossier. La première année (2018) du programme a eu pour objectif de rassembler des données biologiques sur le ravageur (fécondité, cycle biologique, effet de l'environnement sur ce cycle...). De plus, des essais ont été menés afin de déterminer une potentielle plante-piège.



Figure 4 : Photo d'un œuf de *Duponchelia fovealis* sur une feuille d'heuchère variété 'Sweet tart' (Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 21/07/2020).

Les plantes pièges doivent être plus attractives que la culture cible pour le ravageur. Cela permet le regroupement des populations sur la plante en les détournant de la culture, permettant des méthodes de gestion facilitées.

Le projet a continué en 2019 sur *Duponchelia fovealis* et le développement de méthodes de gestion ; notamment par l'étude des pièges à phéromone, des pièges lumineux ainsi que sur l'utilisation de plantes pièges.

Cette 3^{ème} année du projet DIAPLASCE 2 vise à recueillir les dernières données manquantes sur les plantes pièges et les pièges lumineux et perfectionner leur utilisation. De plus, l'étude de l'auxiliaire parasitoïde *Camptoleitis* sp (Hymenoptera : Ichneumonidae) est envisagée afin de recueillir des données biologiques sur l'insecte (taux de parasitisme, cycle biologique...). Tout cela permettra, par la suite de tester des combinaisons de ces différentes méthodes de gestion afin de développer un itinéraire technique permettant le contrôle de *Duponchelia fovealis* chez les producteurs horticoles, produisant notamment du cyclamen qui est la culture la plus impactée par le ravageur d'après leurs témoignages.

2.2. *Duponchelia fovealis*

2.2.1. Généralités

Duponchelia fovealis, appelé communément « the European Pepper Moth », la pyrale du poivron, est un insecte polyphage de l'ordre des Lépidoptères et de la famille des Crambidae, originaire des régions méditerranéennes et des îles canaries (Efil *et al.*, 2014; Paes *et al.*, 2018). Il est maintenant présent en Europe, au Moyen Orient, en Amérique et en Afrique (Brambila and Stocks, 2010). *D.fovealis* peut avoir un fort impact économique sur les cultures notamment de poivrons, d'où il tient son nom, et de fraises aux Etats-Unis ou en Europe (Efil *et al.*, 2014; Zawadneak *et al.*, 2017) ainsi que sur les cultures ornementales tel que le cyclamen (*Cyclamen* sp) (White, 2012). Ce papillon nocturne est identifié comme l'un des grands ravageurs émergents à cause de sa rapidité de dispersion dans de nouvelles régions du monde, de par son cycle court et sa capacité à voler, de sa large gamme de plantes hôtes et de sa présence dans de nombreux pays du monde (Efil *et al.*, 2014; Paes *et al.*, 2018). L'hypothèse principale de cette accélération de prolifération est l'effet du changement climatique (Bethke *et al.*, 2017). En effet, *Duponchelia fovealis* et son cycle biologique s'adaptent très vite aux conditions environnementales et notamment aux variations de températures entre les différentes régions du monde (Paes *et al.*, 2018).

2.2.2. Cycle Biologique

Duponchelia fovealis est un insecte holométabole* (Zawadneak *et al.*, 2017). Son cycle de vie débute par le stade œuf durant 8 à 10 jours. Ces œufs, de forme ovale, vont être déposés à l'unité ou par petit groupe de 3 à 10. Ils sont retrouvés partout sur la plante et plus généralement sur la face inférieure des feuilles, proche de la nervure. Ils mesurent 0,8 à 1,2 mm et vont être tout d'abord de couleur crème puis vont devenir rouge au cours du développement (Figure 4) (Brambila and Stocks, 2010).

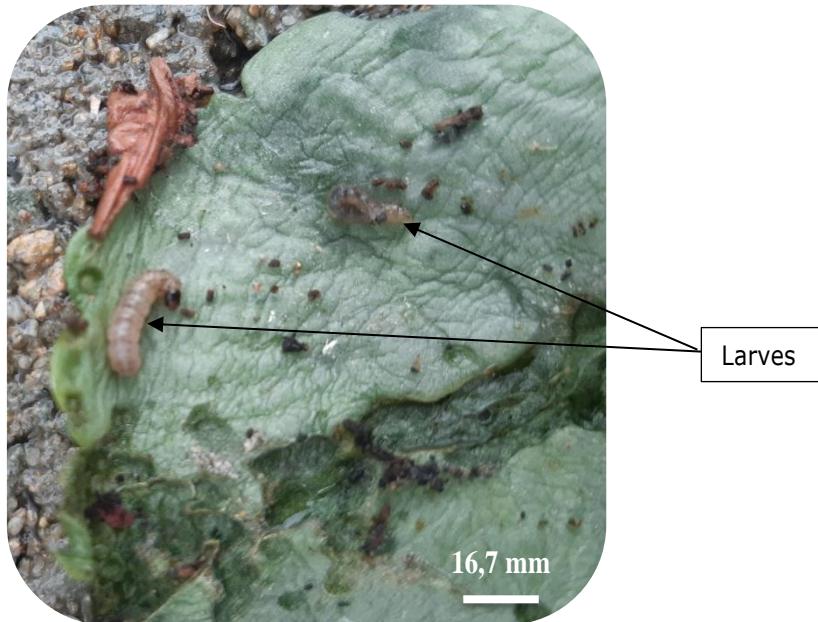


Figure 5 : larves de *Duponchelia fovealis* sur une feuille de kalanchoë

(Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 11/06/2020).



Figure 6 : Chrysalide de *Duponchelia fovealis* sur carotte

(Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 15/07/2020).



Figure 7 : Cocon de *Duponchelia fovealis* (Crédits

photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 12/03/2020).



Figure 8 : Adulte femelle de *Duponchelia fovealis* (Crédits

photo : Amélie Baillou, Arexhor, PL, 23/06/2020).



Figure 9 : Adulte mâle de *Duponchelia fovealis*

(Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL,

01/07/2020).

Cinq stades larvaires vont suivre pendant 3 à 4 semaines selon la température (Brambila and Stocks, 2010; White, 2012; Zawadneak *et al.*, 2017). Les larves sont de couleur blanc crème allant vers le marron et mesurent 20-30mm (Figure 5). Cette couleur peut être différente selon la plante hôte sur laquelle se trouve la larve (Brambila and Stocks, 2010; White, 2012). De plus, elles sont reconnaissables grâce à une capsule noire au niveau de la tête ainsi que des points noirs et des poils dressés sur leur corps (Brambila and Stocks, 2010; Zawadneak *et al.*, 2016). Après le dernier stade larvaire, la larve se transforme en chrysalide (9-10mm), de couleur jaune-marron, qui va être entourée d'un cocon mesurant 15-19mm (Figures 6 et 7) (Brambila and Stocks, 2010). Le cocon peut être retrouvé à la surface du sol, sous les pots des plantes ou bien sous les feuilles. Il est formé de particules de sol, de débris ainsi que des déjections de la larve (White, 2012). Celle-ci restera 8 jours sous forme de chrysalide qui va devenir marron lorsque l'adulte sera prêt à émerger (Stocks and Hodges, 2011; Bethke, 2014). Un papillon adulte mâle ou femelle va émerger de ce cocon, vivant 1 à 2 semaines. L'adulte est marron et possède deux rayures blanches sur les ailes antérieures. Il mesure 9-12mm et est d'une envergure de 19-21mm (Brambila and Stocks, 2010). Les mâles possèdent une rayure blanche entourant leur abdomen qui se recourbe à son extrémité formant un angle de 90° au repos (Stocks and Hodges, 2011; White, 2012). Celui-ci est fin et long contrairement à celui des femelles qui est plus court et épais (Figure 8 et 9) (Zawadneak *et al.*, 2016). Le vol des papillons s'effectue de nuit, même s'il est possible de les observer dans la journée (Brambila and Stocks, 2010). L'accouplement se fait rapidement et l'adulte femelle pond ses œufs 24h après l'émergence (Stocks and Hodges, 2011). Elles peuvent pondre environ 200 œufs au cours de leur vie (Zawadneak *et al.*, 2017).

L'insecte passant l'hiver sous forme de chrysalide, les premières apparitions de *Duponchelia fovealis* sont observées à la mi-mars (Stocks and Hodges, 2011). En effet, les adultes ne font pas de diapause et sont intolérants au froid (Stocks and Hodges, 2011). Le voltinisme* peut aller de 5 à 8 générations, le ravageur étant présent jusqu'en novembre (Stocks and Hodges, 2011; Efil *et al.*, 2014). Le nombre de générations dépend des conditions climatiques et essentiellement de la température (Zawadneak *et al.*, 2017). En effet, *D.fovealis* peut compléter son cycle dans un intervalle de température entre 10 °C et 35°C (Bethke *et al.*, 2017). Plus la température sera forte, plus le développement sera rapide et donc plus il y aura de générations. Cependant, de fortes températures sont aussi défavorables à l'insecte, celles-ci diminuant la fécondité et la longévité du Lépidoptère (White, 2012; Bethke *et al.*, 2017; Paes *et al.*, 2018). Il a été montré par Brambila and Stocks en 2010 qu'à 20°C le développement de l'œuf jusqu'à l'adulte se fait en 47 jours. Les insectes étant ectothermes*, tous les stades de vie sont impactés par la température (Paes *et al.*, 2018). Le développement ainsi que le nombre de générations sont impactés par plusieurs autres facteurs, tels que le régime alimentaire ou encore la plante hôte (Paes *et al.*, 2018).

2.2.3. Plantes hôtes et dommages sur la plante

Les larves de *D. fovealis* sont très dommageables et sont retrouvées sur une large gamme de plantes hôtes. En effet, le ravageur s'attaque à plus de 72 plantes hôtes appartenant à 43 familles botaniques différentes (Zawadneak *et al.*, 2017). Cela comprend des plantes ornementales comme le cyclamen (*Cyclamen sp*), le kalanchoë (*Kalanchoe sp*), le begonia (*Begonia sp*), le poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) (White, 2012)...

De même que des cultures d'intérêt économique telles que le maïs (*Zea mays*), le poivron (*Capsicum anuum*), la tomate (*Solanum lycopersicum*) etc (Brambila and Stocks, 2010; White, 2012). La culture ornementale la plus touchée est le cyclamen où les pertes de production avoisinent régulièrement les 5-10 % dans le Maine et Loire (Hebbinckuys, com. perso.). Certaines situations très critiques ont déjà été constatées avec 40% de perte (Hebbinckuys, com. perso.). De plus, les larves peuvent aussi être retrouvées sur des plantes aquatiques ou de marais. Cela est dû à la forte tolérance des larves à l'humidité. Elles préfèrent les endroits humides et se cachent facilement sous les premières feuilles, près des racines ou dans les tiges (Brambila and Stocks, 2010; Efil *et al.*, 2014).

Tous les organes de la plante peuvent être touchés par les larves lorsqu'elles s'alimentent : les feuilles, les tiges, les racines, les bourgeons, les fruits et les fleurs (Bethke, 2014). Les dégâts et leur gravité dépendent de l'espèce de plante touchée ainsi que du niveau d'infestation. En général, les feuilles à la base de la plante sont les plus touchées (Stocks and Hodges, 2011). Les jeunes larves sont capables de faire des trous dans les feuilles ou de grignoter les tiges alors que les larves les plus âgées peuvent manger des feuilles entières et se nourrir sous la surface du sol (White, 2012). Les dégâts occasionnés par la chenille peuvent affaiblir jusqu'à détruire entièrement la plante et être une porte d'entrée pour des agents pathogènes tels que le champignon phytopathogène *Botrytis cinerea* (Stocks and Hodges, 2011; Molnár *et al.*, 2018). Les larves peuvent aussi se nourrir de débris de matériel végétal en décomposition ainsi que de détritus (Brambila and Stocks, 2010). L'adulte quant à lui va se nourrir de nectar.

2.2.4. Moyens de contrôle

L'attaque du ravageur formant des dégâts non visibles au premier abord ainsi que sa tendance à se cacher dans la plante rend sa détection et son contrôle difficiles. Pour ces mêmes raisons un contrôle par des produits de synthèse, notamment de contact, est peu possible (Efil *et al.*, 2014). Il existe tout de même des solutions chimiques contre cet organisme. Contre les adultes, des produits de synthèse peuvent être utilisés la nuit en aérosol ou sous forme de brouillard afin de toucher le plus d'individus possible. Quant aux larves, des produits de synthèse de contact ou par ingestion étant compliqués à utiliser, des produits systémiques sont à privilégier (Stocks and Hodges, 2011). C'est le cas de l'Orthène, insecticide à base d'Acéphate (famille des organo-phosphorés), identifié par Van der Mey and Bethke en 2011 comme le plus efficace mais il n'est pas autorisé en France (ANSES, 2018). C'est un inhibiteur de l'acétylcholinestérase (IRAC, 2020). La seconde substance active efficace est l'Emamectine (Avermectines). C'est un activateur des canaux chlorure glutamate dépendants (IRAC, 2020). Celle-ci est autorisée en France mais non homologuée sur les cultures ornementales (Van der Mey and Bethke, 2011; European Commission, 2016). De nouvelles méthodes de lutte contre ce ravageur doivent donc être développées. Tout d'abord, des actions prophylactiques* peuvent être faites telles que retirer les débris de matière végétale ainsi que couper les feuilles du bas des plantes. Cela peut être renforcé par l'utilisation de milieux secs comme de la perlite (Brambila and Stocks, 2010). De plus, la surveillance des cultures est primordiale, possible grâce à des méthodes de piégeages avec des phéromones (White, 2012). Ces méthodes font aussi partie des moyens de contrôle en développement tout comme l'utilisation de plantes-piège et d'auxiliaires*.



Figure 10 : Piège à phéromones delta capturant des adultes
D.fovealis chez un producteur
(Crédits photo : Amélie Baillou, 16/06/2020).



Figure 11 : Piège à phéromones entonnoir
(Crédits photo : Alicia Fougère (Arexhor PL), chez un producteur, 17/04/2019).



Figure 12 : Piège à eau utilisant des phéromones de *D.fovealis* (Crédits photo : Alicia Fougère (Arexhor PL), chez un producteur, 02/05/2019).

a) Piégeage

Plusieurs types de piégeage sont efficaces tels que les pièges entonnoir, à eau ou delta lorsqu'ils sont associés à des phéromones ou bien l'utilisation de pièges lumineux (White, 2012).

Pièges à phéromones

Les pièges à phéromones sont aujourd'hui utilisés à large échelle contre les lépidoptères. Ils ont montré leur efficacité afin de surveiller les populations de *Duponchelia fovealis* adultes. Le piégeage de ces adultes participe à la diminution des populations de *D.fovealis*. Cependant, sa fonction première reste le monitoring, c'est-à-dire, la surveillance des populations de *D.fovealis*, essentiellement les adultes. Les phéromones sexuelles sont particulièrement utiles étant donnée leur spécificité à l'espèce. En effet, la phéromone utilisée va attirer spécifiquement les mâles de l'espèce ciblée, dans notre cas les adultes mâles de *D.fovealis* (Van Deventer, 2009). De plus, un avantage des phéromones sexuelles est leur quasi absence de toxicité pour les humains, l'environnement et les insectes auxiliaires (Burks *et al.*, 2020). L'utilisation d'1mg de phéromones permet une efficacité sur les populations pendant 4 à 8 semaines (Van Deventer, 2009; Burks *et al.*, 2020). Cette capture est optimisée grâce à la pureté et la composition de la phéromone ainsi qu'au type de piège utilisé tels que les pièges entonnoir, delta et à eau. Il a été montré que le type de piège pouvait avoir un fort impact sur la capture des ravageurs. Cela est notamment dû aux comportements de vols et d'atterrissement qui sont différents selon les espèces à piéger. Le piège delta se caractérise par une plaque engluée et des phéromones sexuelles protégées de l'extérieur par un toit (Figure 10) (Van Deventer, 2009; Burks *et al.*, 2020). Les avantages de ce type de piège sont la large bande collante, ainsi que la protection de la bande engluée qui permet d'éviter que tous les insectes ne s'y collent (sans spécificité). En revanche, la bande collante est rapidement saturée et doit être remplacée assez fréquemment (Van Deventer, 2009). Les pièges à entonnoir quant à eux sont constitués, comme leur nom l'indique, d'un entonnoir terminé par un pot (Figure 11). Les papillons entrent dans l'entonnoir et ne sont peu ou pas capables d'en ressortir. L'avantage de ce piège est sa capacité à capturer les papillons pendant une longue période, la saturation étant dure à atteindre. La dernière sorte de piège étudiée est le piège à eau, composé d'un réservoir, rempli d'eau et de savon, recouvert d'un toit (Figure 12). Le piège à eau semble le meilleur grâce à sa surface lisse et plus grande que celle du piège delta, suivi du piège delta puis du piège entonnoir (Van Deventer, 2009). Cependant, les essais ont montré que le piège à eau est le moins pratique en production. Il peut chuter, s'évaporer en 24h lors des fortes chaleurs et s'avérer saboté lors d'un arrosage par aspersion (Hebbinkuy, com. perso.). Pour conclure, les avantages de ces pièges à phéromones sont leur facilité d'usage, leur spécificité à l'espèce et au sexe, leur faible coût (environ 40 euros), leur portabilité et ils n'ont pas besoin d'une source d'énergie. Cependant, selon certains critères tels que le design, l'environnement et la localisation, leur efficacité va varier (Reardon *et al.*, 2006). De plus, les phéromones nécessitent d'être changées régulièrement. Ces pièges sont utilisables sous abris ou en extérieur.

Pièges lumineux

Le piège lumineux est une piste à développer afin de surveiller les vols et de diminuer les populations de *Duponchelia fovealis*. Afin de mettre en place ces pièges lumineux plusieurs types de sources de lumière ont été étudiés. Ces dernières années, ce sont les LED (Light Emitted Diodes) qui sont de plus en plus utilisées, offrant une large gamme de longueurs d'onde différentes et précises (Brehm, 2017). De plus, elles peuvent être utilisées plus longtemps, sont faibles en voltage et en énergie et sont plus résistantes aux dégâts mécaniques ainsi qu'à une potentielle surcharge électrique (Infusino *et al.*, 2017).

Une étude sur la vision des insectes de Briscoe and Chittka en 2001 et notamment leur perception des couleurs, montre que les insectes sont en général capables de différencier les couleurs par 3 ou 4 types de récepteurs. Ceci est également possible chez les papillons nocturnes (Eguchi *et al.*, 1982). De plus, chez les lépidoptères, des récepteurs UV, vert et bleu sont décrits et certaines espèces peuvent posséder des récepteurs rouges mais cela est moins fréquent. Il n'existe pas d'étude sur les récepteurs de *Duponchelia fovealis*, on s'intéresse donc aux insectes dont la famille est proche de la famille de *D.fovealis*. Chez *Amyelois transitella* (Pyralidae), famille proche des Crambidae, les longueurs d'onde qu'il semble percevoir sont dans les environs de 350 nm (UV), 430nm (bleu) et 530nm (vert), alors que chez une seconde espèce de Pyralidae étudiée, *Galleria mellonella*, seul un récepteur a été identifié, permettant de distinguer le vert à 510nm (Briscoe and Chittka, 2001). D'après Bates *et al.*, 2013, les sources de lumière composées d'UV en forte quantité ont tendance à attirer les papillons nocturnes. Cependant, les UV ont aussi été identifiés pour attirer une grande diversité d'espèces et pas seulement l'espèce ciblée (Brehm, 2017). Il a été constaté chez les producteurs que certains auxiliaires des cultures comme la chrysope (prédateur efficace de pucerons) ont également été capturés dans ces pièges. Afin d'améliorer la spécificité des pièges lumineux, d'autres longueurs d'onde pouvant être perçues sont étudiées. Il a été montré que des LED de 405nm (lumière bleue) ont pu capturer de nombreuses espèces de Pyralidae (Van Langevelde *et al.*, 2011). En effet, l'utilisation de bleu ou d'UV est intéressant afin de capturer *Duponchelia fovealis* (Stocks and Hodges, 2011).

De plus, une méthode développée par Brehm en 2017 montre qu'un piège utilisant des LED bleues, vertes, blanches et UV pourrait augmenter l'attractivité du piège pour les lépidoptères nocturnes. Le piégeage par la lumière est dépendant de sa spécificité permise par des longueurs d'onde courtes et précises ou peut être une combinaison (Van Langevelde *et al.*, 2011). Mais il est aussi dépendant du type de piège, de la localisation ainsi que de l'environnement (température, humidité de l'air et du type d'habitat) (Bates *et al.*, 2013; Jonason *et al.*, 2014; Infusino *et al.*, 2017; Brehm, 2017). La durée et le moment d'éclairement semblent aussi influencer la capture des individus. En effet, chez *Plodia interpunctella* (Pyralidae), son comportement de vol et de ponte a été influencé par les paramètres d'éclairement tels que la durée, le moment et l'intensité. Lorsque l'obscurité apparaît, ces comportements vont être déclenchés. Cependant, si un seuil de lumière est dépassé pendant la scotophase* cela pourrait annuler les vols de nuit chez les insectes nocturnes (Sambaraju and Phillips, 2008).



Figure 13 : *Dalotia coriaria* adulte

(Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 27/08/2020).

b) Biocontrôle

Le biocontrôle permettrait de contrôler les populations de *Duponchelia fovealis*, notamment avec les insectes auxiliaires*. Ces derniers regroupent les prédateurs et les parasitoïdes*. Les prédateurs comprennent les vertébrés et les arthropodes prédateurs. Ceux-ci sont composés des araignées, des acariens prédateurs, et des insectes (Jaloux, 2017). Les parasitoïdes quant à eux sont définis d'après Eggleton and Belshaw en 1992 comme « des organismes qui se développent sur ou dans un autre organisme unique appelé hôte, en tire sa nourriture et le tue, en résultat direct ou indirect de ce développement ».

Les macro-organismes

Plusieurs macro-organismes utilisables dans un programme de biocontrôle ont été identifiés. Dans la catégorie des prédateurs, trois espèces semblent efficaces contre *D.fovealis*. Il s'agit de *Dalotia coriaria* (Coleoptera : Staphylinidae), et deux acariens du sol *Stratiolaelaps scimitus* et *Gaeolaelaps aculeifer* (Mesostigmata : Laelapidae) (Messelink and Van Wensveen, 2003; Tourtois and Grieshop, 2015).

D. coriaria est un prédateur polyphage se trouvant dans le sol, mesurant 3 à 4mm. Ses larves sont de couleur claire jaune voire crème, alors que l'adulte est noir brillant (Figure 13). Ces stades se nourrissent d'acariens et d'insectes retrouvés dans le sol (Tourtois and Grieshop, 2015). Il va se nourrir des œufs et du premier stade larvaire de *D.fovealis* (Messelink and Van Wensveen, 2003; White, 2012). L'efficacité du prédateur dépend de l'espèce d'insecte ciblée ainsi que de la plante hôte sur laquelle il se trouve (Tourtois and Grieshop, 2015). *S. scimitus* et *G. aculeifer* sont des acariens prédateurs du sol et polyphage. Ils sont capables de s'attaquer aux œufs de *Duponchelia fovealis*, ainsi qu'au premier stade larvaire (Blok and Messelink, 2009; White, 2012). Cependant, *S. scimitus* a montré une meilleure efficacité que *G. aculeifer* pour contrôler *Duponchelia fovealis* (Blok and Messelink, 2009). En effet, *S. scimitus* préfère coloniser la surface du sol alors que *G. aculeifer* va être présent plus en profondeur, à plus de 5 cm sous la surface du sol. Or, *D.fovealis* est présent à la surface du sol et non en profondeur ce qui explique que *S. scimitus* ait une meilleure efficacité même si celle-ci reste variable (Messelink and Van Wensveen, 2003; Blok and Messelink, 2009). Ces trois espèces de prédateurs sont des généralistes, leur efficacité est variable en fonction de l'espèce d'insecte attaquée ainsi que de l'environnement (type de substrat, température, humidité...) (Blok and Messelink, 2009; Tourtois and Grieshop, 2015). Des insectes généralistes sont bénéfiques à la gestion de ce ravageur car ils ont une grande capacité de prédation. De plus leur large éventail de proies leur permet d'avoir des populations stables au cours du temps. Cependant, si une autre de leurs proies est présente dans la culture, ils peuvent facilement se détourner de *Duponchelia fovealis* alors la gestion du ravageur serait impactée négativement. Trois espèces ont aussi été identifiées dans la catégorie des parasitoïdes : *Trichogramma sp* (Trichogrammatidae), *Apanteles sp* (Braconidae), et *Campoletis sp* (Ichneumonidae) (Efil *et al.*, 2014; Zawadneak *et al.*, 2016). D'après Zawadneak *et al.*, en 2016, *Apanteles sp* pourrait parasiter les larves de *D.fovealis*. Les trichogrammes (*Trichogramma sp*) sont des parasitoïdes pouvant parasiter des centaines d'espèces d'insectes dont *Duponchelia fovealis*.



Figure 14 : Espèce de *Campoletis* retrouvée chez les producteurs : *C. crassicornis* mâle
 (Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 30/07/2020).



Figure 15 : Cocon et chrysalide de *Duponchelia fovealis* (gauche) et cocon et chrysalide de *D.fovealis* parasités par une espèce de *Campoletis* (droite)
 (Crédits photo : Tom Hebbinkuys, Arexor PL, 2019).

Les trichogrammes sont disponibles dans le commerce pour lutter contre *D.fovealis*, cependant leur présence est très difficilement décelable en raison de leur taille minuscule. Seule l'observation des œufs parasités permet de savoir si l'auxiliaire s'installe bien. Enfin, le troisième parasitoïde appartient au genre *Campoletis* et est détaillé ci-dessous.

***Campoletis* sp**

Les parasitoïdes sont capables de percevoir des composés volatiles émis par la plante. Cette perception leur permet dans un premier temps de localiser les plantes hôtes des ravageurs puis dans un deuxième temps de localiser leur hôte (Sun *et al.*, 2019b). Ils peuvent percevoir des mélanges de composés volatiles ou un seul ; la composition et la concentration de ces mélanges étant importantes (Sun *et al.*, 2019a,b). Le taux de parasitisme peut dépendre de plusieurs facteurs internes ou externes. Les facteurs vont être par exemple : les conditions environnementales, la présence de nourriture (nectar) pour les adultes influençant leur longévité et leur fécondité, la plante hôte du ravageur, les défenses de l'hôte, la compatibilité de l'hôte avec le parasitoïde... (Gupta *et al.*, 2004; Murillo *et al.*, 2013). Il existe un peu moins d'une centaine d'espèces du genre *Campoletis* dans le monde (Myers *et al.*, 2020). Ce sont des parasitoïdes spécialistes d'une ou plusieurs espèces d'insectes, selon les espèces de parasitoïdes. Chacune de ces espèces ont des données biologiques et de parasitisme différentes. Ce genre est assez mal renseigné dans la littérature. *Campoletis chloridae* est l'espèce la plus présente dans la littérature, mais celle-ci ne serait pas présente en Europe (CABI, 2020). D'après Efil *et al.* (2014), l'espèce *Campoletis rapax* parasite les larves ainsi que les cocons de *D.fovealis*. *C. rapax* est présent en Europe et en France, son taux de parasitisme est de 5,11% et de 7,04% en culture de fraise, et celui-ci semble augmenter vers la fin de la saison (Efil *et al.*, 2014). Chez les producteurs nous avons pu relever des cocons de *Duponchelia fovealis* parasités et une espèce de *Campoletis* en a émergé. Ce parasitoïde a été identifié, grâce aux clés d'identification de Riedel (2017) et de Vas (2019), comme *C. crassicornis*, qui est recensé en France (figure 14). Les observations terrains de l'AREXHOR PL grâce aux prélèvements chez les producteurs laissent cependant présager un meilleur taux de parasitisme que ceux de *C. rapax*. Aucune donnée n'a été recensée pour *C. crassicornis* dans la littérature. Ce dernier peut être favorisé par la présence de plantes nectarifères, principalement des apiacées, et notamment *Peucedanum oreoselinum*. De plus, il est facilement observable par sa taille et l'aspect des cocons parasités de *D.fovealis* qui sont caractéristiques (Figure 15). Il semble parasiter les larves de *D.fovealis*, ce qui est intéressant car c'est le stade faisant le plus de dégâts sur la plante. Or, d'après Di Giovanni and Riedel, 2017, les espèces appartenant à la sous-famille des Campopleginae seraient pour la plupart koïnobiotes* et endo-parasitoïdes*, cependant aucune information spécifique à *C. crassicornis* n'a été recensée. Si *C. crassicornis* est koïnobiote* et non idiobionte*, c'est-à-dire qu'il ne tue pas son hôte lorsqu'il le parasite, l'intérêt pour cet insecte diminue car les larves continuent de faire des dégâts. Malgré cela, le parasitisme conduit quand même à une diminution de l'émergence d'adulte de *D.fovealis* et donc une diminution du nombre de pontes. Le taux de parasitisme est donc important à connaître car s'il est faible lorsque la population du ravageur est dense le parasitoïde sera peu efficace et la combinaison de plusieurs leviers d'action sera d'autant plus importante.

Les micro-organismes

Des micro-organismes peuvent être utilisés dans le programme de lutte par le biocontrôle de *D.fovealis*. Parmi ces micro-organismes on retrouve les nématodes entomopathogènes, une bactérie : *Bacillus thuringiensis* et un champignon : *Beauveria bassiana* (Brambila and Stocks, 2010; Efil *et al.*, 2014; Zawadneak *et al.*, 2016). Trois espèces de nématodes entomopathogènes ont été identifiées pour avoir une efficacité contre ce ravageur. Il s'agit de *Heterorhabditis bacteriophora* (Rhabditida : Heterorhabditidae), *Steinernema carpocapsae* et *Steinernema feltiae* (Rhabditida : Steinermatidae). Ils vivent dans le sol et sont des parasites obligatoires des insectes. En effet, ils entrent par les ouvertures naturelles de l'insecte, libèrent une bactérie symbiotique permettant de tuer l'hôte en quelques jours, puis vont s'y développer et compléter leur cycle. Lorsque les réserves de l'hôte sont épuisées, ils le quittent et partent en recherche d'un nouvel hôte (Tourtois and Grieshop, 2015). Les nématodes sont une solution efficace mais très couteuse et dont l'efficacité dépend grandement de quelques conditions environnementales durant les applications, d'humidité ambiante notamment (Messelink and Van Wensveen, 2003).

Bacillus thuringiensis (Bt) est une bactérie très utilisée en biocontrôle. *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* et *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* ont montré un effet larvicide sur *Duponchelia fovealis*. Cet effet est observé seulement lorsque la culture n'est encore pas trop dense. Le Bt est utilisé comme un insecticide de contact, cela est donc compliqué de l'utiliser sur *D.fovealis* qui se cache dans la plante (Messelink and Van Wensveen, 2003; Brambila and Stocks, 2010). Et enfin, *Beauveria bassiana* qui est un champignon entomopathogène pourrait infecter les larves et les chrysalides de *D.fovealis* (Zawadneak *et al.*, 2016). Une humidité ambiante suffisante est requise lors de son application. Ces micro-organismes sont généralistes touchant plusieurs espèces d'insectes et dépendent de l'environnement (températures, humidités, type de plante hôte, morphologie de la plante...). Ils sont tous disponibles dans le commerce (White, 2012). Toutefois, d'après Tourtois and Grieshop (2015), des interactions entre les différentes méthodes de biocontrôle peuvent intervenir. Par exemple, les stades larvaires de *D.coriaria* semblent être impactés par les nématodes entomopathogènes.

c) Plantes de service

Les plantes de services sont des plantes intégrées à la culture mais n'ayant aucun objectif commercial. Elles sont présentes afin d'apporter des avantages à la culture cible tels que l'amélioration des caractéristiques du sol ou la gestion des bio agresseurs. Plusieurs types de plantes de services sont connus : les plantes attractives, répulsives, nectarifères, les plantes-relais, réservoir ou encore les plantes-pièges (Bodart *et al.*, 2018). Par exemple, l'aubergine est utilisée comme plante pièce contre l'aleurode dans les cultures de poinsettia (Hebbinkuys, 2018). Les plantes pièges sont des plantes plus attractives que les plantes de la culture d'intérêt dont les ravageurs se détournent, intéressantes face à *D.fovealis*. *Duponchelia fovealis* étant un ravageur polyphage et mobile, il peut pondre sur beaucoup de plantes différentes, rendant compliquée l'identification d'une plante pièce idéale (Kovács *et al.*, 2014). Afin de déterminer de potentielles plantes-pièges, les plantes testées sont celles connues comme des plantes hôtes du ravageur où des dégâts sont régulièrement constaté ou des plantes où des larves ont été abondamment observées.

D'après Kovács *et al.*, 2014, *Duponchelia fovealis* est attiré par les composés volatiles, les odeurs, émises par les plantes. En effet, les mâles et les femelles seraient attirés vers les plantes grâce à leur odeur ; les femelles pour pondre leurs œufs et les mâles lors de l'accouplement pour trouver de potentielles femelles près des plantes hôtes. Ces composés volatiles peuvent influencer le comportement de l'insecte si les composés sont seuls ou en association. La concentration ainsi que la composition des composés volatiles doivent être pris en compte pour une meilleure efficacité (Kovács *et al.*, 2014).

2.3. Objectifs et problématiques

Duponchelia fovealis est un grand ravageur émergent des cultures ornementales. De par son arrivée récente en Europe ainsi que la diminution de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, le développement de méthodes alternatives est nécessaire. Cette étude a pour but d'étudier plusieurs leviers d'action tels que les pièges lumineux, les plantes pièges puis le parasitoïde *Campoletis sp*. Ces leviers sont étudiés afin d'optimiser l'itinéraire technique et ainsi réduire les populations de ravageurs.

Les pièges à phéromones sont déjà utilisés par les producteurs, cependant, ces pièges demandent de l'entretien (changement des bandes collantes et des capsules de phéromones à intervalles réguliers) et n'attirent que les mâles mais sont spécifiques. L'objectif de l'utilisation de pièges lumineux est d'attirer les mâles ainsi que les femelles avec le moins d'entretien possible. Ces pièges sont peu spécifiques, l'amélioration de cette sélectivité par les longueurs d'onde est donc importante afin de capturer seulement des insectes ravageurs et ainsi pouvoir utiliser ce levier dans le cadre de la protection biologique intégrée. Cependant, les pièges lumineux restent assez coûteux.

Les molécules attirant *D.fovealis* sont jusqu'alors peu connues et non commercialisées d'où l'utilisation de plantes entières. Les plantes pièges sont l'un des leviers d'action intéressants grâce au fait qu'elles soient peu coûteuses, productibles par le producteur et qu'elles permettent une gestion du ravageur facilitée étant donné son détournement de la culture. L'étude de ces plantes est importante afin de limiter les dégâts sur la culture rapidement et sélectionner *Duponchelia fovealis*, évitant d'attirer d'autres nuisibles.

Les essais de cette année ont pour but de trouver la meilleure plante piège répondant à ces caractéristiques : la plus spécifique possible, plus attractive que la culture à protéger et pouvant être produite aux périodes de présence de la culture et de *D.fovealis*. Cependant, les plantes pièges demandent beaucoup d'entretien et de surveillance pour les producteurs et la destruction du ravageur reste un problème.

Le troisième et dernier levier d'action de cette étude est le parasitoïde *Campoletis sp*. Les insectes auxiliaires identifiés et commercialisés restent coûteux et pour la plupart se trouvent dans les sols. Il est donc difficile pour les producteurs de s'en procurer pour de grandes surfaces et de savoir s'ils sont vraiment efficaces dans leurs cultures, étant peu visibles. *Campoletis sp* est intéressant car il est présent spontanément et a été observé chez les producteurs. Cette étude a pour objectif d'apprendre plus d'informations sur la biologie de ce parasitoïde afin de voir s'il est efficace et finalement rentable de le favoriser.



Figure 16 : Disposition des différentes espèces de plantes utilisées pour le premier test de plantes pièges
 (Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 14/05/2020).



Figure 17 : Plan du premier test de plantes pièges.

3. Matériel et Méthode

3.1. Plantes pièges

3.1.1. Test de plusieurs plantes pièges

Matériel vivant

Différentes espèces de plantes ont été mises en place dans un tunnel insect-proof le 04 mai 2020. De plus, lors de ce premier test, l'*Elaeagnus* (*Elaeagnus x ebbingei*) et le cyclamen (*Cyclamen sp*) font office respectivement de témoin négatif et de témoin positif. Le témoin négatif est nécessaire afin de valider le dispositif, s'il ne reçoit aucune ponte, cela montre que les papillons choisissent leur plante pour pondre. Quant au témoin positif, il est présent pour vérifier qu'il y a bien des pontes grâce à des plantes les plus sensibles aux papillons et permet de comparer les autres espèces au témoin positif. Les plantes testées sont le géranium (*Geranium sp*), l'heuchère pourpre (*Heuchera sp*), le thym (*Thymus sp*), le poivron (*Capsicum anuum*) et le kalanchoë (*Kalanchoe blossfeldiana*) (Figure 16). Pour ce test, les plants de poivron étaient assez petits et les plants de thym âgés. Au sud, le plant de thym a été remplacé par un plant de *Pyracantha sp*, pour des raisons d'approvisionnement. Ces espèces de plantes (mis à part *Elaeagnus*) ont été utilisées car elles se sont montrées attractives pour *Duponchelia fovealis* chez les producteurs ou dans la littérature.

Un élevage de *Duponchelia fovealis* est mis en place à la station. Les papillons sont élevés sur terreau. Les larves sont nourries grâce à des carottes et de l'eau miellée est mise à disposition des adultes. L'élevage est approvisionné grâce aux larves et chrysalides prélevées chez les producteurs.

Mise en place de l'essai

Cet essai est réalisé à la station de l'ARHEXOR Pays de la Loire aux Ponts-de-Cé (49). Les plantes ainsi que les lâchers de papillons ont été réalisés dans un tunnel insect-proof. Les plantes ont été disposées à égales distances en 3 rangs (nord, centre et sud du tunnel) et disposées de façon aléatoire (Figure 17). La disposition aléatoire des plantes est importante afin d'éviter les possibles biais (environnementaux, du notateur...). Afin de réaliser le test, 2 lâchers ont été réalisés. Le premier a été fait le 07 mai 2020. Cependant, peu de papillons étaient disponibles dans l'élevage, seulement 26 papillons ont pu être libérés. La population de *D.fovealis* ayant augmenté dans l'élevage, un second lâcher de 45 individus a été réalisé le 11 mai 2020 afin de compléter le premier. Le sexe des individus n'a pas été identifié. De précédents essais ont montré que la proportion est de 50% de mâles et 50% de femelles, à quelques individus près. La présence des deux sexes est nécessaire lors des lâchers afin que les papillons puissent s'accoupler et que la ponte ait eu lieu au moment de la notation. Les notations ont été réalisées environ 7 jours après les lâchers car le stade œuf dure 8 à 10 jours. Ce test conduit à 2 notations, l'une effectuée le 14 mai et l'autre le 21 mai. Les œufs ont été comptés, sur les plantes et le substrat, plutôt que les larves ou les adultes car ils sont plus visibles sur la plante, sont immobiles et témoignent d'une affinité de la femelle afin d'effectuer sa ponte.



Figure 18 : Culture de 200 cyclamens avec 8 Heuchères plantes piéges (Crédits photo : Amélie Baillou, Arexhor PL, 15/07/2020).

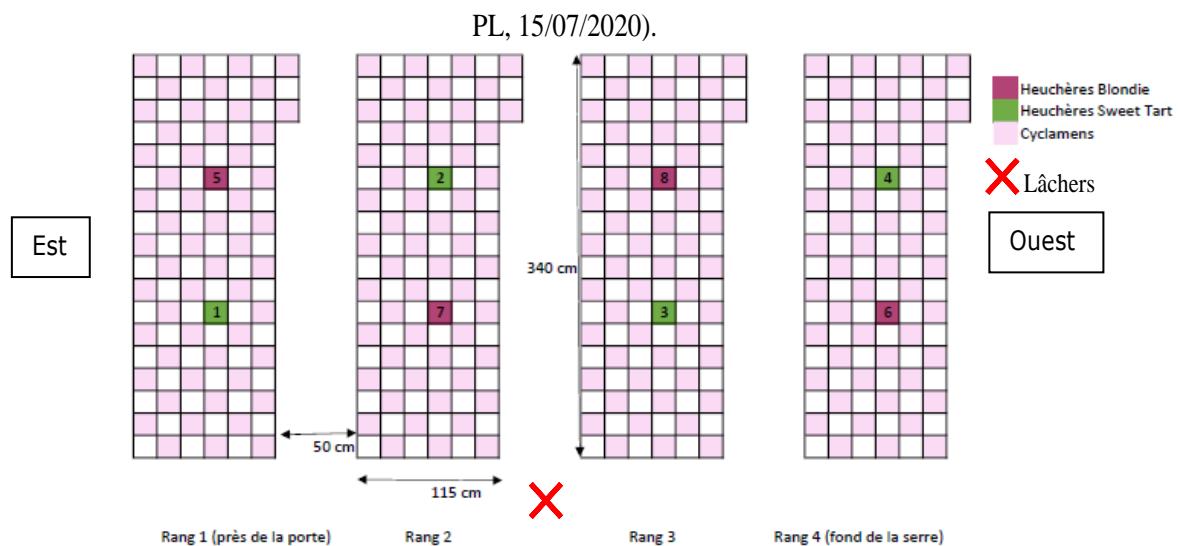


Figure 19 : Plan de l'essai en culture de cyclamen.



Figure 20 : *Heuchera* sp var. 'Sweet Tart' (Crédits photo : Amélie Baillou, chez un producteur, 11/06/2020).

Figure 21 : *Heuchera* sp var. 'Blondie' (Crédits photo : Amélie Baillou, chez un producteur, 11/06/2020).

Tableau I : Tableau des lâchers de *D.fovealis* adultes réalisés dans la culture de cyclamen.

Date	Nombre de papillons
15-juil	18
17-juil	8
22-juil	20
28-juil	10
07-août	12
12-août	15

3.1.2. Test en culture de cyclamens

Les cultures de cyclamens sont les plus touchées par *Duponchelia fovealis*. En effet, le ravageur peut occasionner de grandes pertes de plantes chez les producteurs. Afin d'évaluer une plante-piège qui permettrait de bien détourner le ravageur de la culture et faciliter la gestion, une culture de cyclamen a été mise en place dans la serre de la station. Cette culture est composée de 200 cyclamens et de 8 plantes-pièges (figure 18 et 19). Cette densité a été choisie de façon aléatoire, celle-ci est surdosée par rapport aux habitudes des producteurs, dans le but de valider l'espèce de plante-piège au sein de la culture. Si cela fonctionne, la densité de plante-pièges sera par la suite diminuée progressivement. Les plantes pièges sélectionnées sont des Heuchères (*Heuchera* spp), suite au premier test l'heuchère s'est détachée des autres plantes testées. De plus, lors des prélèvements de larves et cocons chez les producteurs, les heuchères ont été les plus infestées. Huit heuchères ont donc été introduites dans la culture de cyclamen, 4 heuchères de la variété 'Sweet Tart' (Figure 20) ainsi que 4 autres de la variété 'Blondie' (Figure 21). Ces deux variétés d'heuchères ayant montré une plus grande infestation lors de précédentes observations chez le producteur.

Toutes les plantes ont été rempotées dans des pots de 17 cm de diamètre avec du terreau monagri. Ce terreau est caractéristique par sa composition en grosse fibre de coco ou d'écorce, il contient des particules assez grossières. Pour chaque plante, le même terreau a été utilisé afin d'éviter que les pontes soient influencées par le substrat. La production de cyclamen est menée au plus proche des habitudes des producteurs. Lors du premier mois, les plantes sont arrosées à l'eau claire puis avec un engrais soluble, ICL 11-11-31 à [1g/l], à chaque arrosage lorsque les racines sont suffisamment développées (Figure 18).

En production les apparitions de ravageurs ne sont pas régulières, c'est pourquoi les lâchers ont été réalisés de manière aléatoire suivant le nombre de papillon disponibles dans l'élevage (Tableau I). Avant le premier lâcher de papillons, les heuchères provenant du producteur ont été notées afin d'évaluer l'infestation de base en ravageur et ainsi, déduire que la présence du ravageur est due aux lâchers effectués. Puis, 72 cyclamens (représentant environ un tiers de la culture) ainsi que toutes les heuchères sont notées une fois par semaine à partir du début de l'essai, le 15 juillet : le nombre d'œufs, de larves et de cocons sont relevés pour chaque plante notée. De plus, une échelle de notation a été mise en place pour les cyclamens afin d'évaluer les dégâts causés par les larves. L'échelle de notation comprend 5 classes allant de 0 à 4. La première, correspondant à la classe 0, signifie que le cyclamen est sain sans présence visible de *Duponchelia fovealis*. Dans la classe 1 se trouvent des cyclamens sains mais où on peut observer *D.fovealis*. La classe 2 regroupe les cyclamens où des dégâts sont observables mais la plante est encore en forme alors que la classe 3 représente des cyclamens ayant des dégâts du ravageur avec des symptômes de dépérissement de la plante (dessèchement, feuilles tombantes...). Enfin, la dernière classe signifie la mort du cyclamen à cause des dégâts causés par *D.fovealis* (Annexe I).



Figure 22 : piège de type « plat » et type « V » associé au tube néon UV-A (Crédits photos : Amélie Baillou, Arexhor PL, 18/05/2020).

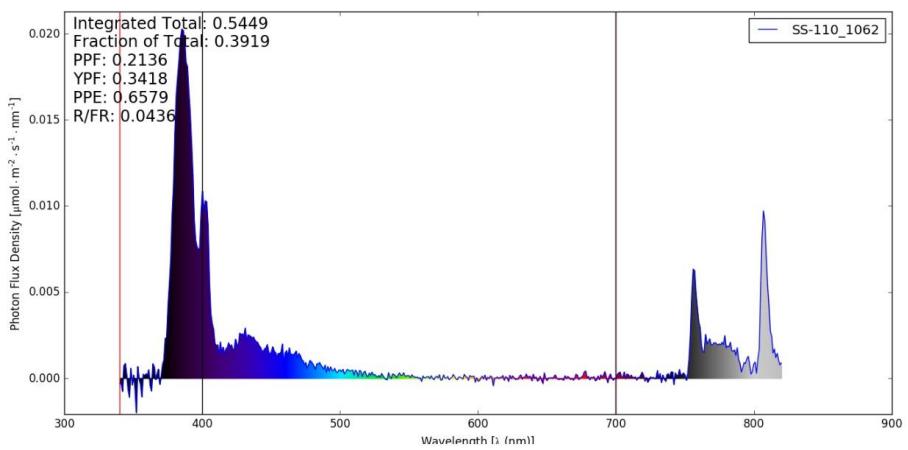


Figure 23 : Spectre des longueurs d'onde du tube Néon UV-A utilisé dans le test 1.

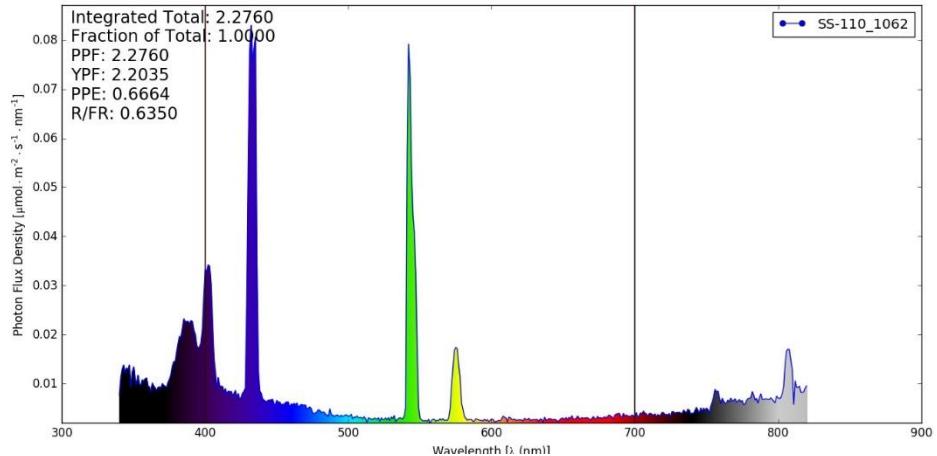


Figure 24 : Spectre des longueurs d'onde du tube Néon de la même référence qu'une ampoule à tester fonctionnant chez un producteur utilisé dans le test 2 et 3.

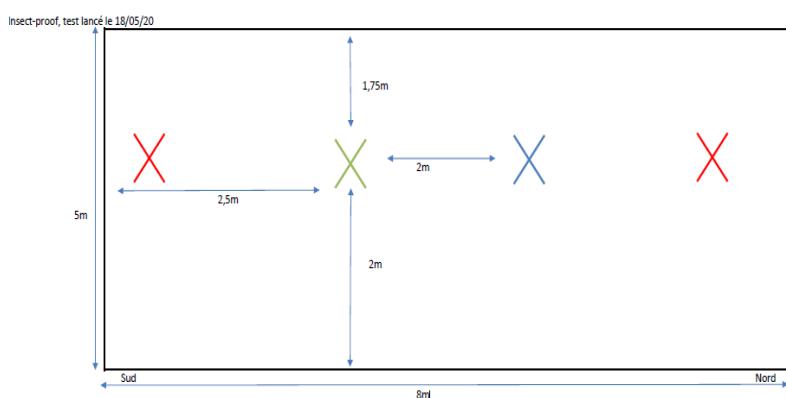


Figure 25 : Plan du test 1 utilisant des pièges lumineux.

Tableau II : Dates et durées d'éclairage du test.

Dates	Durées d'éclairage
18 - 19 mai 2020	20h-7h
20 mai 2020	20h-13h
21 mai 2020	20h-7h
22-25 mai 2020	18h30-7h
26 mai 2020	18h30-12h
27 mai 2020	18h30-7h

3.1.3. Tests statistiques

Un test ANOVA a été réalisé sur les valeurs de nombre d'œufs pour chaque espèce de plante du test de plusieurs plantes pièges. Ce test compare chaque plante entre elles afin de déterminer une différence significative entre les plantes. Pour le test en culture de cyclamen un test de Mann-Whitney a été réalisé comparant le groupe des heuchères et le groupe des cyclamens. En effet, le test ANOVA n'était pas possible car le critère d'additivité n'était pas respecté.

3.2. Pièges lumineux

3.2.1. Détermination du type de piège

Le type de piège s'est révélé être important dans la littérature. Trois tests ont été réalisés afin de déterminer quel type de piège était le plus approprié. Deux types de pièges ont été sélectionnés pour ces tests. Tout d'abord, un piège en forme de « V » qui a montré son effet dans un autre essai réalisé à la station portant sur les pièges lumineux. Les pièges de ce type mesurent 70 cm de longueur et 20 cm de largeur (figure 22). Le deuxième type, est un piège « plat » confectionné pour ces tests, mesurant 40x20cm (figure 22). Des tubes néons sont utilisés car ils ont une plus forte intensité que des lampes LED et sont nécessaires en moindre quantité. Pour le premier test, c'est un néon UV-A possédant des longueurs d'onde de 315 à 400 nm et des longueurs d'onde correspondant au bleu qui est employé (figure 23). Concernant les tests 2 et 3, ils ont été réalisés à l'aide de tubes néons UV-A différents du premier test, avec des pics d'intensité repérables à 430nm, 540nm, 385, 400 et 585nm (figure 24). Les longueurs d'onde utilisées ont été choisies d'après les résultats d'un précédent essai à la station montrant que les Pyralidae (famille proche des Crambidae) étaient attirés par les UV-A. De plus, dans la littérature, les longueurs d'onde identifiées pour attirer les Pyralidae sont les longueurs d'onde de l'UV et du bleu. Sur chaque piège seront fixées deux plaques collantes utilisées dans les pièges delta habituellement. Ces plaques vont permettre de piéger les papillons. Puis, une notation sera réalisée tous les jours jusqu'à la notation finale de chaque test. Le nombre de papillons sera dénombré et le sexe de chaque papillon sera identifié afin de détecter une éventuelle préférence d'attraction pour les mâles ou les femelles.

Cet essai est réalisé dans un tunnel insect-proof à la station de l'ARHEXOR Pays de la Loire aux Ponts-de-Cé (49).

Le premier essai s'est déroulé du 18 mai au 27 mai 2020 (Figure 25). La station ne possédant qu'un seul tube néon UV-A, les répétitions sont donc impossibles. Un piège de type « V » et un de type « plat » sont placés à chaque extrémité du néon. Des pièges sans lumière sont introduits comme témoin négatif, afin de montrer que c'est bien la lumière qui attire les papillons. Deux lâchers de 29 et 13 papillons ont eu lieu les 18 et 22 mai, respectivement.



Figure 26 : Disposition des différents pièges lumineux utilisés dans le test 2 (Crédits : Amélie Baillou, Arexhor PL, 24/06/2020).

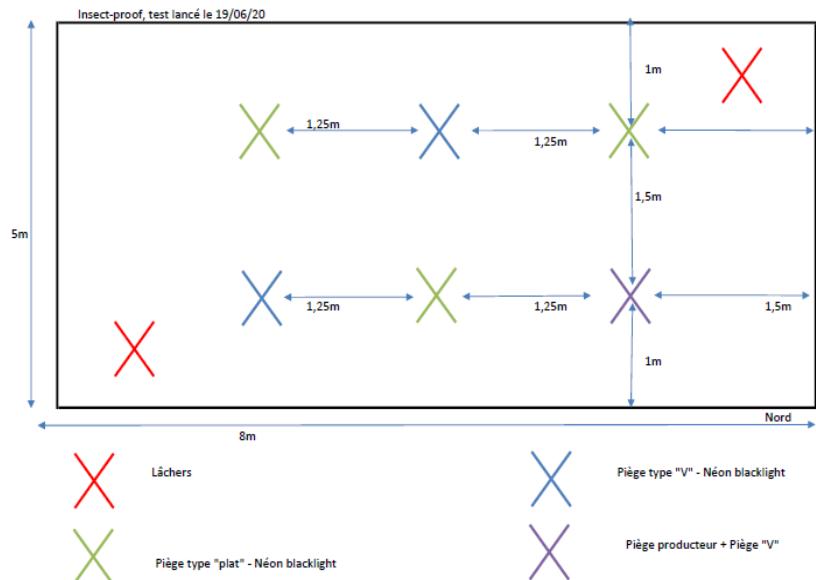


Figure 27 : Plan du test 2 pièges lumineux.

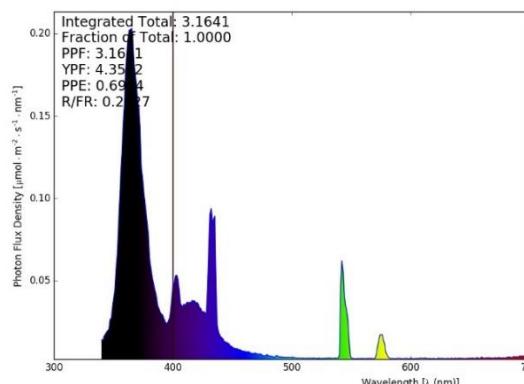


Figure 28 : Spectre du piège fonctionnant chez les producteurs servant de témoin positif dans le test 2.



Figure 29 : piège lumineux à grilles électrifiées fonctionnant chez les producteurs, utilisé comme témoin positif dans le test 2 (Crédits photo : Amélie Baillou, chez un producteur, 30/07/2020).

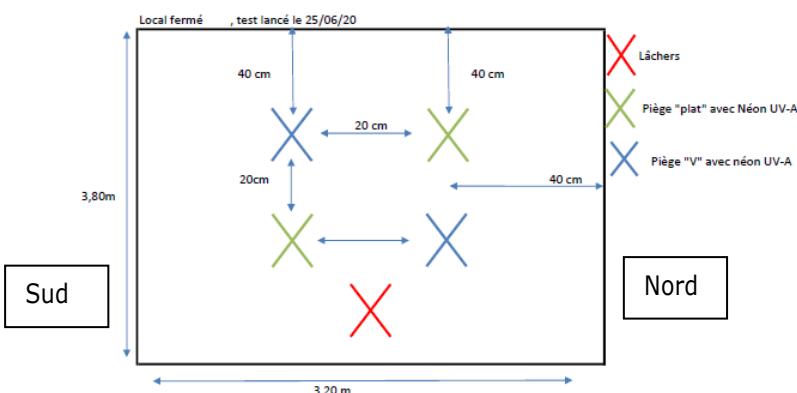


Figure 30 : Plan du test 3 piège lumineux.

Les durées pendant lesquelles les pièges sont allumés sont variables au cours du test (tableau II). En effet, la lumière est parfois maintenue la journée afin d'observer le comportement des papillons et trouver une heure adéquate pour les piéger lors des vols des adultes.

Le deuxième test avait pour but, grâce au matériel acheté suite aux références transmises par les producteurs, d'augmenter le nombre de répétitions pour chaque type de piège. En effet, trois pièges de type « V » et trois de type « plat » sont mis en place, cinq d'entre eux possèdent un tube néon UV-A (figure 26 et 27). Le spectre de ces tubes néons, mesuré avec un spectromètre, a repéré des pics d'intensité à 430nm, 540nm, 385 nm, 400 nm et 585nm (figure 24). De plus, un piège de type V est associé à un piège électrifié, utilisant deux tubes néons UV-A, fonctionnant chez les producteurs et servant dans ce test de témoin positif (Figure 28 et 29). Aucun témoin négatif, piège sans lumière, n'a été incorporé car durant le premier test le ravageur a montré son attirance pour la lumière et ce deuxième test a été fait dans les mêmes conditions que le premier. Ce test a eu lieu du 19 juin au 25 juin. Pendant cette période, un lâcher de 39 papillons a été réalisé le 18 juin. Les néons sont allumés sur toute la période de l'essai de 18h30 à 7h le lendemain matin. Il en sera de même pour le troisième test.

Le troisième test suit l'hypothèse que la température est trop élevée dans le tunnel insect-proof, les papillons ne survivent pas. Ce test a donc été réalisé dans un local bien isolé et frais du 25 juin au 3 juillet 2020 (Figure 30). Seulement 4 pièges ont été placé, deux de type « V » et deux de type « plat », associé au néons UV-A (Décris ultérieurement). Un lâcher de 25 papillons a été effectué le 25 juin, suivi d'un deuxième le 30 juin de 10 papillons.

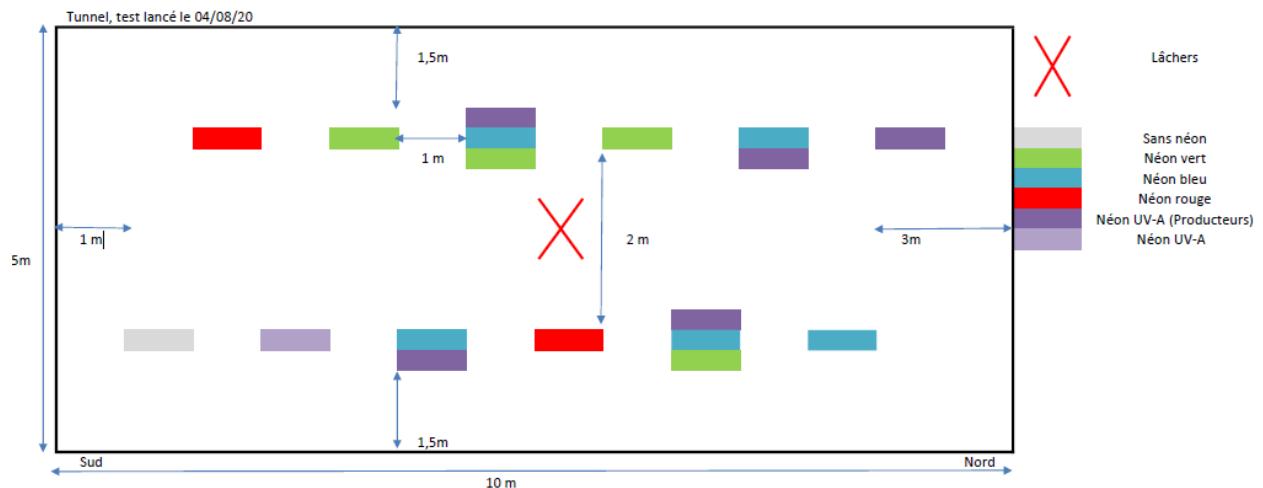


Figure 31 : Plan du test 4 : détermination de la longueur d'onde.



Figure 32 : Disposition des différents pièges lumineux utilisés dans le test 4.

(Crédits : Alicia Fougère (Arexhor PL), 05/08/2020)

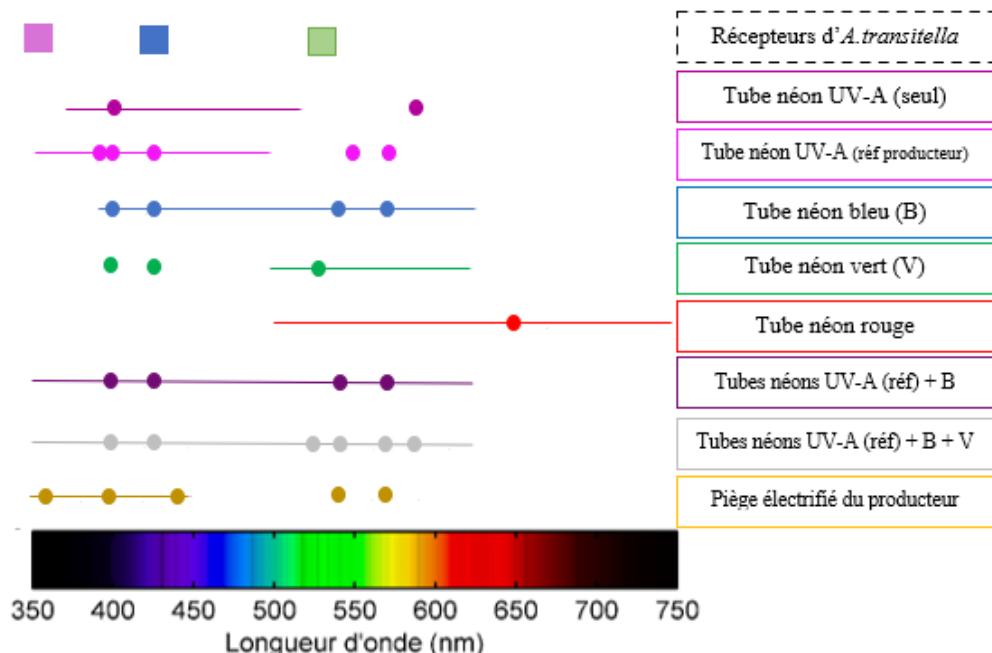


Figure 33 : Représentation des spectres associées à chaque tube néon ou combinaison de tubes néons et leur concordance entre eux et avec les récepteurs d'une espèce de Pyralidae, *A.transitella*.

Rond : pics de longueurs d'onde, carrés : longueurs d'onde des récepteurs, traits : longueur des spectres. Inspiré des spectres de longueurs d'onde figure, 23,24,28 et annexes II ; Bruot (2016)(Briscoe and Chittka (2001)).

3.2.2. Détermination de longueurs d'onde

Les insectes peuvent percevoir certaines longueurs d'onde grâce à des récepteurs. D'après Briscoe and Chittka (2001), les Pyralidae, famille proche des Crambidae, pourraient posséder des récepteurs vert, bleu et UV. Dans le but de tester des pièges les plus spécifiques possibles de *Duponchelia fovealis*, plusieurs modalités de longueurs d'onde différentes sont testées (Figure 31 et 32). Les spectres de toutes les modalités ont été déterminés et sont visibles en annexe II. De plus, la figure 33 montre les pics caractéristiques du spectre de chaque modalité testée ainsi que leur concordance avec le spectre des tubes néons associés au piège électrifié du producteur, ainsi qu'avec les récepteurs possédés par *A.transitella*. Tout d'abord, les modalités tubes néons vert (pics à 400nm, 580 nm et 530nm), bleu (pics à 435 et 540nm) et UV-A ont été testées seules. Toutes les modalités sont entourées d'un piège de type « V » constitué de deux plaques à 45° par rapport au sol, sur lesquelles se trouve deux plaques engluées par côté. De plus, un tube néon rouge (entre 600 et 700 nm) est testé dans les mêmes conditions. Les Pyralidae ne semblent pas posséder de récepteur pour les longueurs d'onde dans le rouge cependant les essais de l'an dernier ont montré une potentielle attraction de ces longueurs d'onde sur *Duponchelia fovealis*. Les néons rouges sont donc intégrés au test afin de confirmer ou infirmer les hypothèses faites l'année dernière.

Afin d'obtenir plus de spécificité pour l'insecte-cible, des combinaisons de tubes néons ont été effectuées, avec tout d'abord UV-A/bleu et UV-A/bleu/vert. De plus, un piège de type « V » sans néon a été introduit afin d'en faire un témoin négatif pour ce test. Toutes ces modalités sont répétées 2 fois. Seule les modalités « bleu seul » et « sans néon » sont répétées une seule fois par manque de matériel. De plus, un néon UV- A de la même référence que l'ampoule chez le producteur manque pour ce test. Il a donc été introduit un tube néon UV-A, seul, d'une autre référence, utilisé pour d'autres essais à la station et capturant plusieurs familles d'insectes. Le test a été mis en place le 03 août 2020 jusqu'au 12 août. Des lâchers de 28 et 10 adultes de *Duponchelia fovealis* ont été réalisés les 03/08 et 08/08 respectivement. Le nombre de papillons est relevé chaque jour et le sexe de chaque individu est identifié. Les néons sont allumés de 17h30 à 7h. De plus, une caméra infrarouge a été placée dans le tunnel afin de vérifier que les papillons sont présents dans le tunnel au cours de la période d'allumage. Cette caméra est aussi utilisée pour vérifier que les papillons sont bien piégés et qu'ils ne volent pas autour des pièges sans se coller.

3.2.3. Tests statistiques

Aucun test statistique ne peut être réalisé avec si peu de répétitions ou de résultats.

3.3. Auxiliaires

Des chrysalides parasitées ont été prélevées chez un producteur en 2019, elles ont été placées dans une cage d'élevage afin d'observer l'émergence du parasitoïde. Par la suite les individus ont été identifiés grâce à la clé d'identification de Riedel, 2017. Le parasitoïde rencontré serait *Campoletis crassicornis*. En 2020, des cocons de *Duponchelia fovealis* ont été prélevés chez les producteurs, puis mis dans une cage séparée des larves. L'émergence de *C.crassicornis* dans les cages d'élevage a été surveillée pendant la saison.

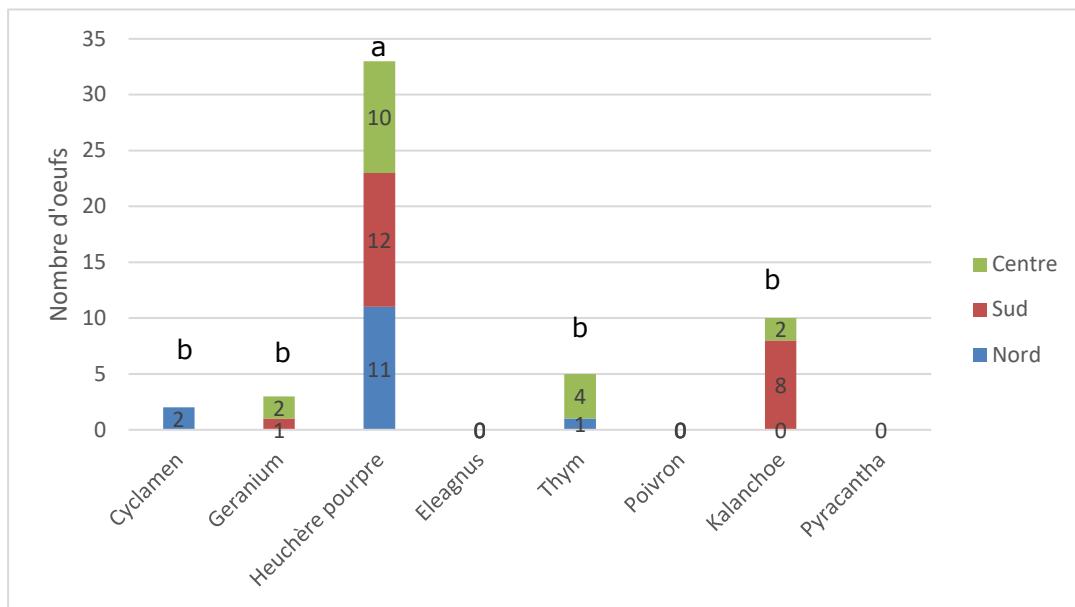


Figure 34 : Histogramme représentant le nombre d'œufs retrouvés sur la plante et le substrat de chaque espèce de plante testée lors des deux notations. Les couleurs de l'histogramme représentent la position des plantes dans le tunnel. Les groupes statistiques sont représentés par les lettres a et b.

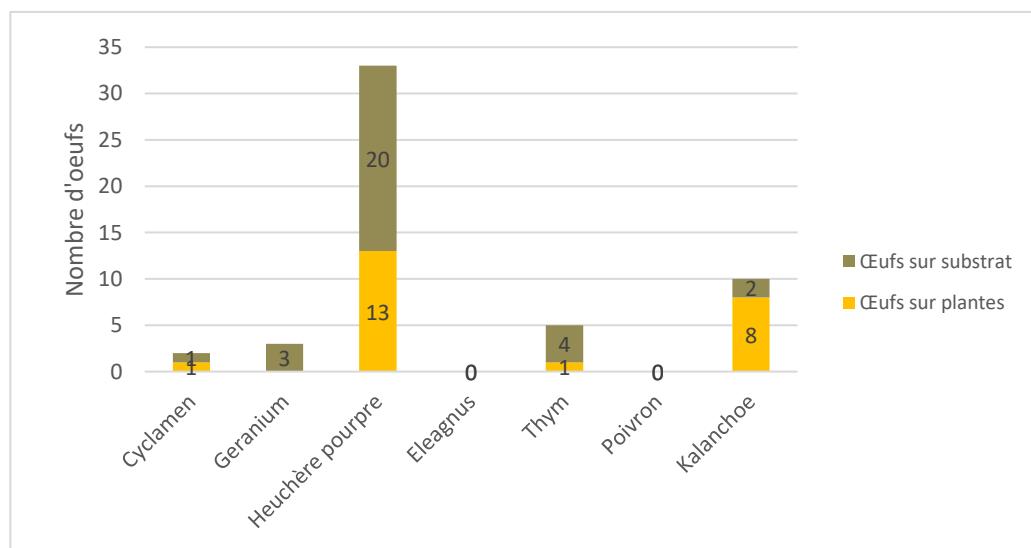


Figure 35 : Histogramme représentant le nombre d'œufs retrouvés sur les différentes espèces de plantes testées lors des deux notations. Les couleurs de l'histogramme représentent la localisation des œufs sur l'espèce : sur la plante ou sur le substrat.

Cependant, seul deux individus mâles ont émergé des cocons prélevés sur le terrain. Cela n'est pas suffisant pour faire un test de parasitisme grâce à ce parasitoïde. Au contraire, si une grande quantité de parasitoïdes avait émergée des cocons, nous aurions pu faire un lâcher dans la culture de cyclamen afin d'associer les thématiques plantes pièges et gestion de *Duponchelia fovealis* grâce aux auxiliaires.

4. Résultats

4.1. Plantes pièges

Le nombre d'œufs a été compté sur chaque plante introduite dans le test plante piège. Ce test vise à comparer le nombre d'œufs entre les différentes plantes afin de déterminer une plante piège. Les résultats de ce test sont visibles figure 34. Aucun œuf n'a été relevé sur les témoins négatifs, les *Eleagnus sp.* De plus, aucun œuf n'a été compté sur les poivrons ainsi que le *Pyracantha sp.* Au contraire, des œufs ont été observés sur les cyclamens, les géraniums, les thymus et les kalanchoës avec respectivement 2, 3, 5 et 10 œufs. De plus, sur les heuchères pourpres un total de 33 œufs a été relevé. Les heuchères pourpres semblent se détacher des autres plantes pièges potentielles. Afin de comparer le nombre d'œufs sur toutes les plantes entre elles, un test ANOVA a été réalisé. Cette démarche est possible car toutes les conditions sont réunies (égalité des variances, la courbe des valeurs suit une loi normale...), de plus, un potentiel effet des blocs nord, centre ou sud est également pris en compte avec ce test. On pose l'hypothèse nulle (H_0) selon laquelle il n'y a pas de différence entre le nombre d'œufs sur les différentes espèces. La p-value est de $4,36E^{-6}$, H_0 est rejetée, il y a donc une différence significative entre au moins une espèce de plante et le reste du groupe (Annexes III). En effet, le nombre d'œufs sur les heuchères est significativement différent du nombre d'œufs se trouvant sur les autres plantes testées. De plus, entre les géraniums, les kalanchoës, les thymus et les cyclamens il n'y a pas de différence significative (figure 34).

Ces résultats sont complétés avec le nombre d'œufs présents sur la plante et sur le substrat. Ces résultats sont visibles sur la figure 35. En effet, sur le cyclamen, 50% des œufs sont retrouvés sur le substrat et 100% des œufs comptés sur le géranium sont sur le substrat. De plus, sur heuchères pourpres 60% des œufs sont sur le substrat, 80% des œufs sont sur le substrat pour les thymus et enfin, concernant les kalanchoës, 20% sont sur le substrat. Pour conclure, sur les géraniums, heuchères pourpres et thym, les œufs sont principalement sur le substrat, alors que les œufs se trouvent majoritairement sur la plante pour les kalanchoës. Quant aux cyclamens, un œuf se trouve sur le substrat et l'autre sur la plante. Lorsque les œufs se trouvent sur la plante, ils sont souvent retrouvés sur les feuilles mortes ou en décomposition et à la base des tiges.

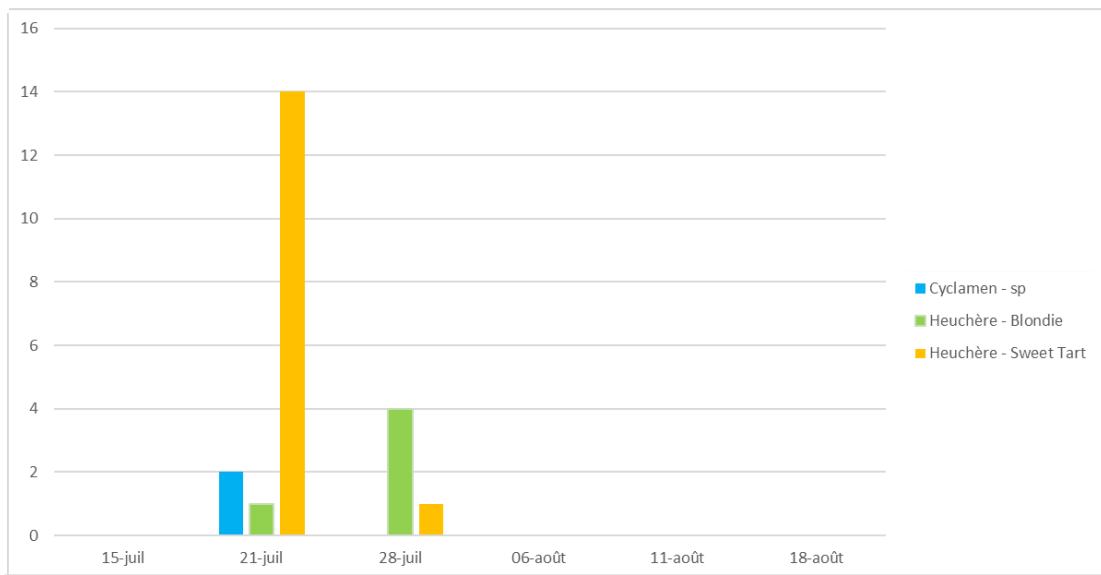


Figure 36 : Histogramme représentant la somme du nombre d'œufs retrouvés sur 72 cyclamens, 4 heuchères 'Blondie' et 4 heuchères 'Sweet Tart' lors de 6 dates.

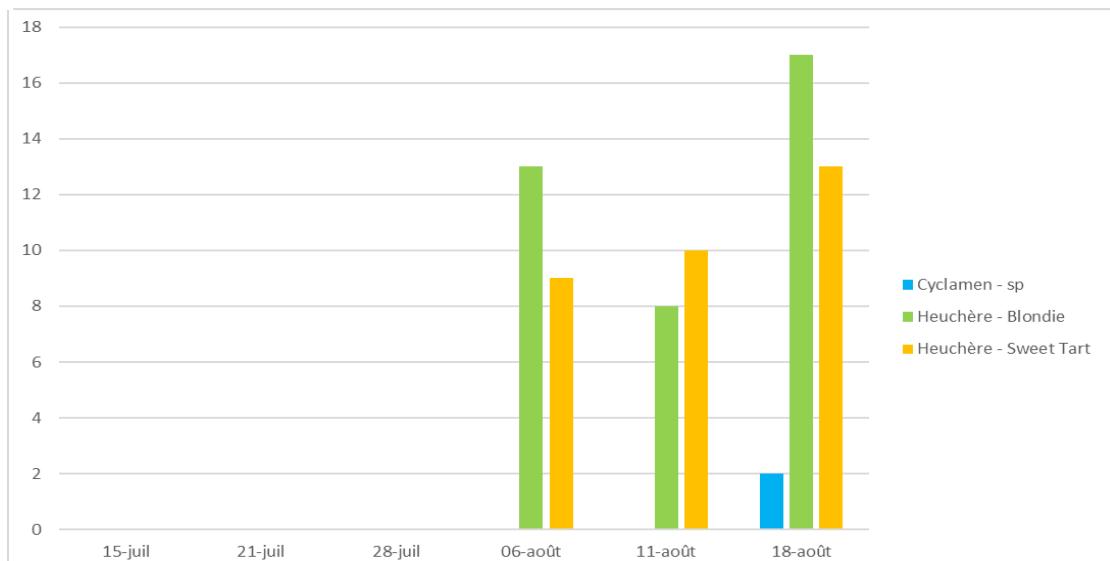


Figure 37 : Histogramme représentant la somme du nombre de larves retrouvées sur 72 cyclamens, 4 heuchères 'Blondie' et 4 heuchères 'Sweet Tart' lors de 6 dates.

L'heuchère semblant être l'espèce la plus attractive dans le précédent test, deux variétés ont été insérées dans une culture de cyclamen. Durant ce test, plusieurs notations ont été réalisées relevant le nombre d'œufs, de larves ainsi que le nombre de cocons. Les résultats sont visibles figures 36 et 37. La totalité des heuchères a été notée lors d'une notation initiale avant les lâchers de *D.fovealis*, aucun œuf ou larve n'a été retrouvé sur les plantes ou sur les substrats.

Suite au premier lâcher, des notations sont effectuées toutes les semaines. Le 21 juillet 2020, 2 œufs ont été recensés sur les cyclamens, 1 œuf sur heuchères 'Blondie' ainsi que 14 sur heuchères 'Sweet Tart'. La semaine suivante, aucun œuf n'a été identifié sur cyclamens alors que 4 et 1 œufs ont été retrouvés sur les heuchères 'Blondie' et 'Sweet Tart', respectivement. Lors des deux notations suivantes, aucun œuf n'a été retrouvé sur les plantes. Cependant, des larves ont émergé. Le 06 août, une somme de 13 larves se trouvaient sur les heuchères 'Blondie' ainsi que 9 larves sur les heuchères 'Sweet Tart'. De plus, le 11 août, 8 et 10 larves ont été comptabilisées sur les heuchères 'Blondie' et 'Sweet Tart' respectivement. Dans le cas des heuchères 'Blondie' le nombre d'œufs a augmenté entre la deuxième et la troisième notation et le nombre de larve a diminué entre les deux dernières notations ; alors que, dans le cas des heuchères 'Sweet Tart' la tendance est inverse. Le nombre d'œufs a diminué entre la deuxième et la troisième notation et le nombre de larves a augmenté entre le 06 et 11 août. Jusqu'ici les larves n'étaient pas prélevées.

A partir du 18 août, les larves visibles ont été comptabilisées et retirées de la plante afin d'identifier les nouvelles larves et avoir une évolution de la population dans le temps. Le 18 août marque l'apparition des cocons. En effet, deux cocons ont été retrouvés, l'un sous un pot d'heuchère et l'autre sous un pot de cyclamen. Aucun nouvel œuf n'a été observé sur cyclamens ainsi que sur les heuchères, malgré des lâchers de papillons réalisés une à deux fois par semaine. Cependant, 2 larves ont été prélevées des cyclamens, 13 larves sur les heuchères 'Blondie' et 17 sur les Heuchères 'Sweet Tart'. En comparant avec les deux dernières notations le nombre de larves sur les plantes a encore augmenté.

Pour conclure, un total de 2 œufs et 2 larves ont été observés sur 72 cyclamens alors que 20 œufs et 70 larves ont été retrouvés sur seulement 8 heuchères. D'après ces résultats les heuchères semblent être plus attractives que les cyclamens, et ainsi agir en tant que plante piège.

Un test ANOVA a été fait pour comparer le nombre de larves sur les heuchères toutes confondues ainsi que sur les cyclamens. Cependant, ce test n'est pas approprié car la condition d'additivité, prérequis du test, n'était pas validée. Un test non paramétrique a donc été effectué. Afin de comparer deux groupes, le test de Mann-Whitney a été utilisé. L'hypothèse nulle dit qu'il n'y a pas de différence entre le nombre de larves retrouvées sur les heuchères et le nombre de larves sur les cyclamens. La p-value étant égale à $7,67E^{-9}$ cela est inférieur à 5%, l'hypothèse nulle est rejetée. Il y a donc une différence significative entre le nombre de larve sur les heuchères et le nombre de larves sur les cyclamens (Annexe III).

Le 18 août 3 cyclamens étaient de classe de dégât 1, c'est-à-dire que *D.fovealis* est présent mais qu'il n'y a pas de dégât visible sur la plante. Le reste des cyclamens sont de classe 0 (Annexe I).

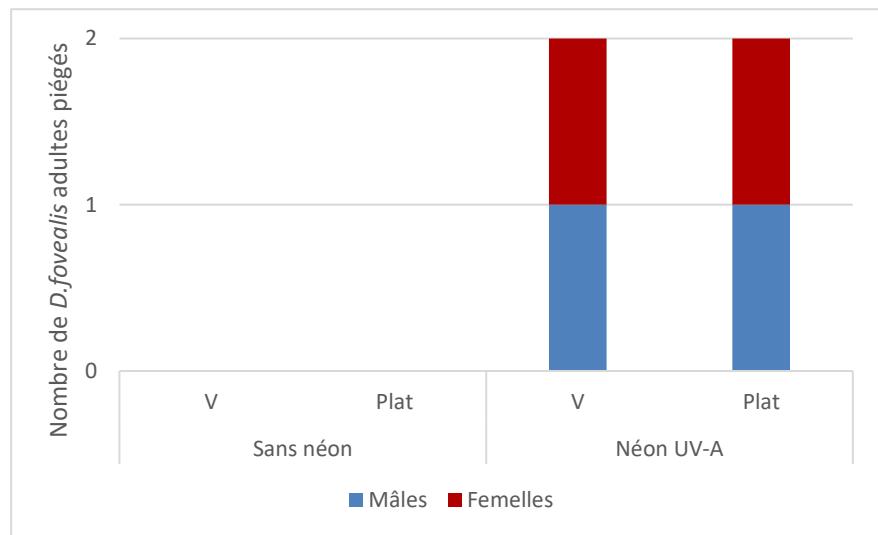


Figure 38 : Histogramme représentant le nombre de *D.fovealis* adultes piégés lors du premier test en fonction du type de piège en présence ou non d'un néon UV-A.

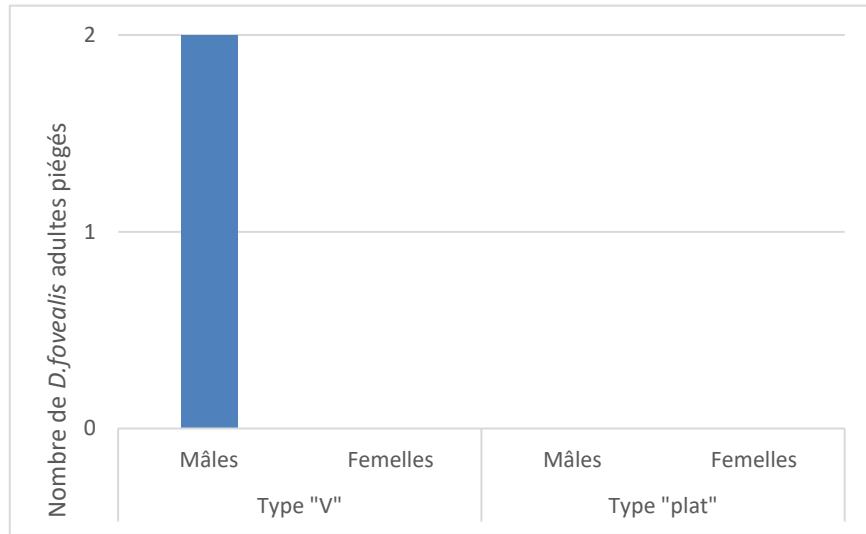


Figure 39 : Histogramme comparant le nombre de *D.fovealis* adultes mâles et femelles piégés en présence de néons UV-A, lors du test 2, en fonction du type de piège.

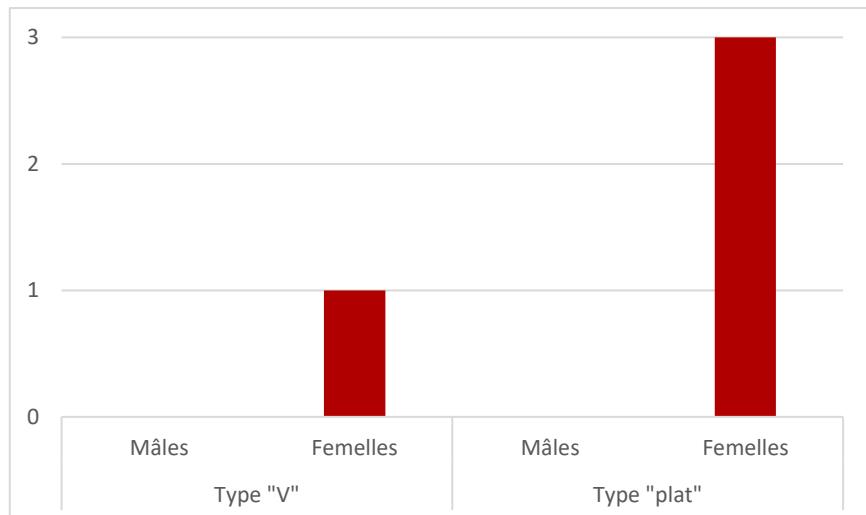


Figure 40 : Histogramme comparant le nombre de *D.fovealis* adultes mâles et femelles piégés en présence de néons UV-A, lors du test 3, en fonction du type de piège.

4.2. Pièges lumineux

Les résultats visibles figures 38, 39 et 40 font suite aux trois tests visant à déterminer le type de piège le plus efficace afin de piéger *D.fovealis*. Dans le test 1, deux papillons ont été piégés sur le piège de type « V » ainsi que deux autres sur le piège de type « plat ». Cependant, aucun papillon n'a été retrouvé sur le témoin négatif. Lors du deuxième test, les mêmes types de pièges ont été repris, mais avec des références de néons différentes du premier test. Cette fois-ci, seulement deux papillons ont été piégés sur les pièges de type « V » et aucun sur les pièges « plat ». De plus, sur le témoin positif, la lampe accompagnée d'une grille électrifiée venant de chez les producteurs, un seul papillon a été piégé.

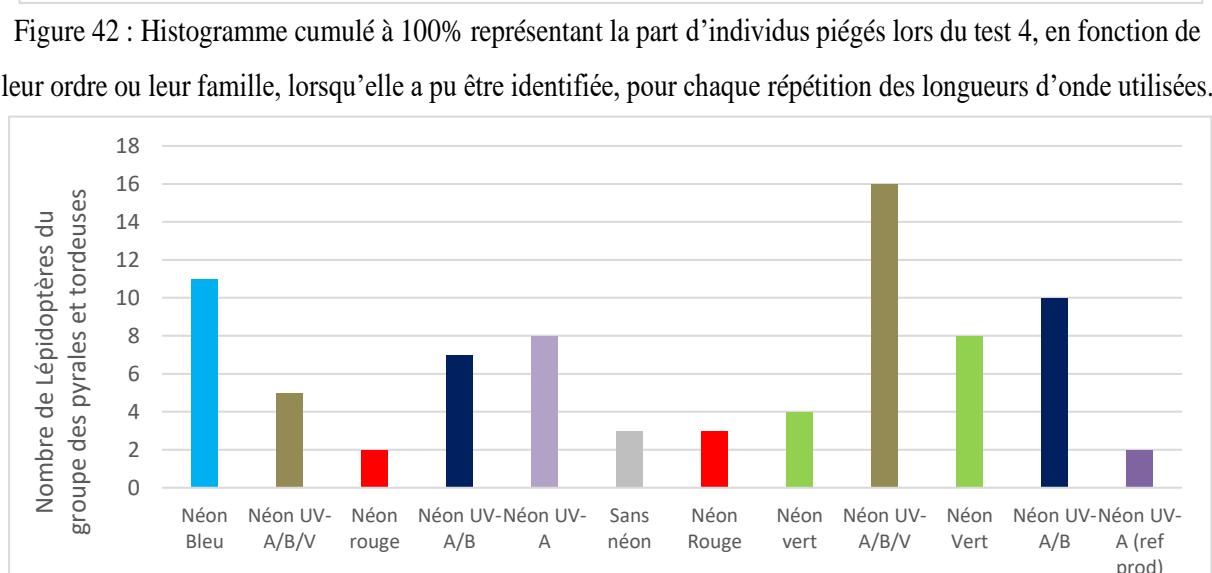
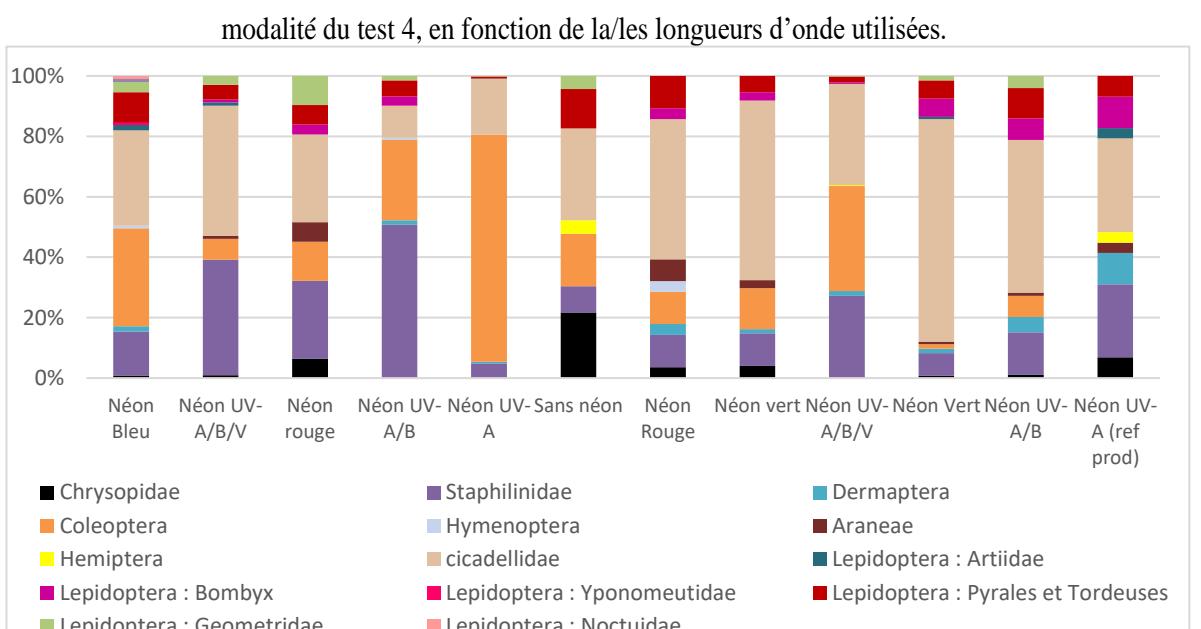
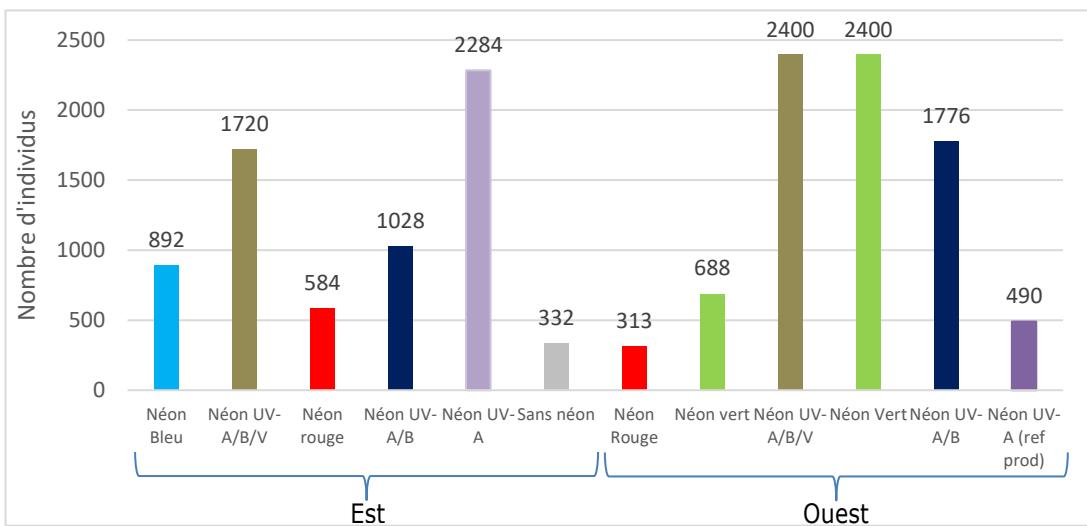
Le troisième et dernier test permettant de déterminer le type de piège adéquat pour le piégeage de *D.fovealis*, a pour résultats : 3 papillons sur les pièges « plats » ainsi qu'un seul sur le piège type « V ».

Pour conclure, seulement 5 papillons, au total, ont été piégés par les pièges de type « V » et 5 autres par les pièges « plat » sur un total de 116 papillons lâchés, soit 9% de piégeage au total. Il n'est donc pas possible de statuer sur un type de piège plus efficace plutôt que l'autre.

Lors de ces tests le sexe des papillons piégés a été déterminé. Cela permet de détecter un effet plus important des néons utilisés sur les mâles ou sur les femelles. Lors des 3 premiers tests de détermination du type de pièges : 4 mâles et 6 femelles ont été piégés. Les effectifs sont faibles, cependant, le piégeage semble équivalent entre les mâles et les femelles.

Cependant, le type de piège en « V » a été sélectionné pour la suite de l'essai. En effet, ce type de piège a montré son efficacité pour le piégeage lors d'un autre essai testant des pièges lumineux à la station. Le dernier test effectué avec les pièges lumineux consiste à déterminer la ou les longueurs d'onde les plus adaptées au piégeage d'adulte de *D.fovealis*. Durant toute la durée de ce test, aucun papillon de *D.fovealis* n'a été piégé. La caméra Beecam placée pendant deux nuits lors du test n'a rien filmé de concluant. Elle s'est déclenchée plusieurs fois dans la nuit mais aucun papillon de *D.fovealis* n'a été détecté.

Le test 4 n'ayant donné aucune information sur l'efficacité de piégeage de *D.fovealis* par différentes longueurs d'onde, les autres insectes ont été notés. La figure 41 montre le nombre d'individus, tout ordre confondu, selon les longueurs d'onde. Ce sont les tubes néons UV-A/bleu/vert (à l'Ouest) et le tube néon vert qui ont piégé le plus d'insectes (2400 environ), suivis du tube néon UV-A seul (Est) avec 2284 insectes puis des néons UV-A/B (Ouest) et des néons UV-A/B/V (Est), avec respectivement 1776 et 1720 insectes piégés. Les tubes néons monochromatiques, mis à part ceux déjà cités, ont tous capturé moins de 1000 insectes. De plus, le témoin négatif, c'est-à-dire le piège sans néon est l'un des deux pièges ayant récolté le moins d'individus avec le tube néon rouge placé à l'ouest (respectivement 332 et 313 individus), ce qui valide le dispositif. Le nombre d'individus ne donnant aucune information sur la diversité des insectes piégés, une identification de ces derniers a été faite jusqu'à l'ordre, voire jusqu'à la famille. La figure 42 représente la part de chaque ordre identifié dans chaque modalité. Les Chrysopidae, Staphilinidae, Dermaptera, Coleoptera, Hymenoptera, Araneae et les Hemiptera font partie ici des insectes dits auxiliaires ou « non-cibles ». Le reste sont les insectes ravageurs, qu'il faut cibler.



Dans l'ordre des coléoptères se trouvent des insectes auxiliaires mais aussi des insectes ravageurs. Cet ordre est donc dit non-cible car les espèces, ainsi que leur rôle écologique n'ont pas pu être déterminé.

Les modalités néon UV -A simple, néons UV-A/B (Est) et les néons UV-A/B/V (Ouest) capturent plus de 50 % d'insectes auxiliaires alors que les modalités néons UV-A/B/V (Est), néon rouge (Ouest), les deux modalités néons vert (toutes deux du côté Ouest), les néons UV-A/B (Ouest) et le néon UV-A référence du producteur piègent moins de 50% d'insectes auxiliaires. De plus, le nombre de Lépidoptères appartenant au groupe des pyrales et des tordeuses est important car les pyrales et *D.fovealis* font partie de la même super-famille des Pyraloidea. Les pyrales et les tordeuses sont regroupées ensemble car il est difficile de les identifier. Sur la figure 43 est représenté le nombre d'individu de ce groupe. La modalité néons UV-A/B/V (Ouest) a le plus d'individus de cette super-famille avec 16 individus suivi de la modalité néon bleu avec 11 individus, puis de la modalité néon UV-A/B (Ouest) (10 individus), du piège néon UV-A simple avec 8 individus et du deuxième piège UV-A/B (Est) avec 7 individus. Pour conclure, ce sont les modalités UV-A/B/V, UV-A/B , UV-A seul, et le tube néon bleu qui ont le plus d'individus au total, et le plus d'insectes de la super-famille des Pyraloidea.

5. Discussion

5.1. Plantes pièges

Lors du premier test utilisant des plantes pièges, l'*Eleagnus sp*, le témoin négatif, n'a reçu aucune ponte, validant en partie le test. De plus, des œufs ont été retrouvés sur les plantes dont la sensibilité à *D.fovealis* était connue, notamment le kalanchoë, ce qui contribue à valider le test (White, 2012). Le poivron est connu pour être sensible à *D.fovealis* cependant, il semble qu'aucun œuf n'y ait été déposé. Ce résultat peut être expliqué, par le fait que le poivron soit l'espèce la moins attractive des espèces présentes ou que les plants étaient petits donc que le stade de la plante n'a pas attiré *D.fovealis*. L'objectif de ce test était de déterminer, en fonction du nombre d'œufs retrouvés, une plante pièce utilisable pour la suite des essais consistant à tester cette plante choisie dans une culture de cyclamen. Le cyclamen est très sensible à *D.fovealis*, les producteurs peuvent avoir de grosses pertes sur leur culture. En comparant le nombre total d'œufs déposés avec les œufs déposés sur les heuchères pourpres, 60% d'œufs ont été pondus sur ces dernières. L'heuchère se démarque bien des autres plantes. La plante testée la plus efficace après l'heuchère est le kalanchoë avec 19% d'œufs pondus, il y a donc une différence significative entre les heuchères et le reste des plantes, mais aucune différence significative entre le géranium, le thym, le kalanchoë et le cyclamen. Ces résultats montrent que l'heuchère est plus attractive que les autres plantes, y compris le cyclamen, donc cette plante a été utilisée pour la suite des essais.

Cependant, il est visible en figure 35 que la moitié des œufs pondus sur heuchères sont pondus sur le substrat et l'autre moitié sur la plante. L'année dernière, l'hypothèse que les heuchères seraient attractives pour la ponte des œufs mais non appétentes pour les larves, a été émise. Cette hypothèse pourrait expliquer que les œufs soient pondus sur le substrat. Les adultes femelles ne pondraient pas ou peu sur les plantes peu appétentes. Or, cette hypothèse est infirmée avec le test en culture de cyclamen car des larves sont retrouvées sur les heuchères et provoquent des dégâts au niveau du collet de la plante.

Des lâchers de papillons ont été réalisés toutes les semaines et, à ce jour, six notations ont été réalisées. Les résultats de cet essai montrent que les heuchères sont plus infestées par *D.fovealis* que les cyclamens. Celles-ci ont été prélevées chez un producteur lorsque des œufs ou des larves étaient présents. Ces individus ont, par la suite, été retirés avant le début de l'essai. Les larves observées pendant l'essai sont bien la conséquence des lâchers effectués. Cela pour trois raisons : tout d'abord la notation T0 des heuchères le 15 juillet, au moment de leur disposition dans l'essai, montre aucun signe de la présence de larve, ni d'œuf. De plus, un nombre important d'œufs a été constaté le 21 juillet. Or, d'après le cycle biologique de *D.fovealis* le stade œuf dure 8 à 10 jours, donc ces œufs sont probablement issus du lâcher de 18 papillons effectué le 15 juillet. En effet, si les pontes avaient eu lieu chez le producteur, on ne verrait plus d'œufs mais que des larves. Enfin, douze heuchères ont été mise de côté dans des cages d'élevage, afin de renouveler les heuchères lorsqu'il sera nécessaire, donc n'ont pas été influencées par les lâchers de papillon. Or, d'après nos observations aucune des heuchères en cage n'héberge de larves.

Elles étaient donc parfaitement saines lors de leur prélèvement chez le producteur. Ces trois raisons prouvent que les œufs et les larves observés sont donc bien issus de nos lâchers de papillons.

Il serait attendu que le nombre d'œufs à la notation soit égal au nombre de larves la semaine suivante et cela toutes les semaines. Or, sur la figure 36, à la deuxième notation des œufs sont présents sur la plante puis il y a une diminution du nombre d'œufs les semaines suivantes. Cependant, le nombre de larves apparaît et augmente à partir de la quatrième notation (figure 37). Cela est expliqué par le fait que les œufs sont difficilement visibles et de petite taille. En effet, il a été montré que la majorité des œufs étaient pondus sur le substrat, ce qui rend encore plus complexe le repérage de ces œufs. Les larves sont donc plus faciles à repérer, grâce aux dégâts qu'elles commettent et les déjections et soies qu'elles laissent sur leur passage. Seules les larves sont notées par la suite, des œufs étaient forcément présents car des larves de stades 1 ont été observées lors des dernières notations. Lors des quatrième et cinquième notations les larves ont été dénombrées mais pas prélevées, ceci dans le but d'observer la dégénérescence de la plante suite aux dégâts causés par les larves et ainsi déterminer une durée d'efficacité des plantes-piège et pour savoir quand remplacer la plante piège. Cependant, cette méthode rend les notations imprécises. En effet, lors de la cinquième notation, nous ne savions pas si la larve trouvée était une larve déjà présente la dernière fois ou une nouvelle. Il a donc été décidé pour la sixième notation et les suivantes de prélever les larves, les prochaines dénombrées seront donc avec certitude de nouvelles larves détectées. Ce phénomène explique la baisse du nombre de larves dans les heuchères 'Blondie' le 11 août alors qu'il devrait être égal ou supérieur à la notation précédente. Les larves peuvent donc ne pas être observées car elles sont mobiles et vont s'enterrer dans le substrat, il est donc difficile de les apercevoir. Cependant, même sans voir la totalité des larves, des symptômes sont visibles. Les larves et leurs symptômes n'ont été observés que sur les heuchères. Mis à part deux larves détectées sur les cyclamens, ces derniers ne montrent aucune faiblesse. Ce résultat confirme bien le rôle de plante piège des heuchères.

Suite aux lâchers de 83 papillons dans la culture, le nombre de larves et d'œufs attendu était bien supérieur à celui relevé. En effet, avant les lâchers, les papillons se trouvaient dans l'élevage, pour certains individus, depuis quelques jours. Or, l'accouplement ainsi que les pontes s'effectuent dans les 24h suivant l'émergence (Stocks and Hodges, 2011). Certaines femelles ont donc pondu en partie dans l'élevage et leur stock d'œufs n'était pas entier en entrant dans la culture. Elles peuvent tout de même pondre plusieurs fois dans leur vie.

Les heuchères peuvent être plus attractives que les cyclamens, mais il faut prendre en compte que les cyclamens étaient moins développés comparés aux heuchères. En effet, les cyclamens venaient tout juste d'être repiqués alors que les heuchères étaient déjà en pot de 2L, plus de racines étaient donc formées et elles étaient en fleurs. Le stade de la plante peut intervenir dans l'attraction de *D.fovealis*. Ce qui est intéressant car, si cette hypothèse est confirmée, la culture de cyclamen reste protégée au début de sa production en attendant qu'ils se développent. La suite de l'essai est pour le moment imprévisible, si le cyclamen se développe deviendra-t-il plus attractif que les heuchères pour le ravageur ? L'espèce d'heuchères, en elle-même, a-t-elle un effet sur *D.fovealis* ou l'effet est dû seulement du fait que la plante soit plus développée donc plus attractive ?

Dans ce test, une heuchère est placée pour 27 cyclamens environ. Cette densité de plantes pièges est très forte et ne sera pas adoptée par les producteurs car non viable économiquement. De plus, lorsque les plantes sont ajoutées à la culture, il faut les gérer afin de détruire le réservoir de ravageur sur la plante et renouveler les plantes, il faut donc le moins de plante-pièges possibles. Dans la suite de l'essai, la densité d'heuchères sera diminuée de moitié voire par 4. En effet, une ou deux heuchères pour 200 cyclamens serait une densité acceptable pour la présenter aux producteurs. Cependant, la diminution de la densité d'heuchères dans la culture ne doit pas entraîner une diminution de la protection de la culture de cyclamen. La suite des essais nous montrera jusqu'à combien nous pouvons diminuer le nombre d'heuchères pour X cyclamens afin d'avoir une couverture totale de la production.

De plus, lorsque les plantes pièges sont bien infestées il est nécessaire de les détruire afin de diminuer les populations de *D.fovealis* présentes. La larve peut se nourrir de déchets de matière organique en décomposition, il n'est donc pas possible de jeter les plantes sur les tas de compost, cela ne va pas stopper le développement du ravageur (Brambila and Stocks, 2010). Une solution simple, efficace et peu coûteuse pour les producteurs sera recherchée à la suite de ces essais dans la culture de cyclamen. En effet, plusieurs actions sont possibles. Tout d'abord, utiliser un traitement composé de *Bacillus thuringiensis* sur les larves des premiers stades afin de diminuer leur population, bien que, les dégâts soient déjà causés. Une application trop tardive ne serait pas efficace, les larves plus âgées se déplaçant dans le substrat (White, 2012). Une autre solution serait d'utiliser des organismes auxiliaires. Plusieurs espèces peuvent être utilisées. Tout d'abord, afin de les tester dans cet essai, il faut que cet organisme soit peu mobile afin de rester dans les pots d'heuchères, pour ne pas interférer avec l'essai plante piège. De plus, l'insecte auxiliaire doit attaquer les œufs de préférence pour que la larve n'ait pas le temps de faire de dégâts. L'utilisation de *Dalotia coriaria* peut être écartée car cet insecte est très mobile dans les cultures alors qu'un traitement localisé est nécessaire. Il en est de même pour les nématodes, ceux-ci sont localisés, cependant, les conditions d'application sont très complexes, leur efficacité de prédatation dépendant de l'environnement. L'acarien *S.scimitus* semble être la meilleure solution, celui - ci se nourrissant des œufs ainsi que des larves de premiers stades et se déplaçant peu dans la culture. Par la suite, chez le producteur, une fois l'efficacité des plantes pièges prouvées, les plantes pièges pourront être combinées avec des traitements de fond, sur toute la culture, grâce à *D.coriaria* ou *S.scimitus* par exemple. De plus, des densités plus fortes d'organismes auxiliaires pourront être appliquées sur les plantes pièges afin de maîtriser le ravageur, tout en ayant un coût inférieur au coût d'un lâcher de forte densité sur toute la culture. Cette fois ci avec des organismes appliqués localement et ayant montré leur efficacité de gestion dans les essais.

L'objectif final serait de tester l'itinéraire technique retenu chez un producteur dont les cultures sont infestées par *D.fovealis*. Chez les producteurs, d'autres cultures que celle de cyclamen peuvent être touchées, telle que les cultures de kalanchoë. Il est donc important de tester cet itinéraire technique dans plusieurs productions et avec d'autres variétés de cyclamen. En effet, il se peut que la variété de cyclamen utilisée soit moins sensible à *D.fovealis* que d'autres variétés produites. De plus, seulement deux variétés d'heuchères sont testées, il faudrait tester d'autres variétés pour écarter un effet variétal ou toujours utiliser les variétés 'Blondie' et 'Sweet Tart' qui ont fait leurs preuves lors de cet essai.

5.2. Pièges lumineux

Aucun résultat concluant n'a pu être tiré des tests menés afin de déterminer un piège lumineux optimisé pour la capture des papillons de *Duponchelia fovealis*. Durant les trois premiers tests servant à déterminer un type de piège adéquat au piégeage de *D.fovealis*, 10 papillons sur 116 lâchés ont été piégés dans les dispositifs. Cela représente un taux de 9% de piégeage, ce qui est peu. De plus, lors des derniers tests servant à choisir une longueur d'onde attirant les adultes du ravageur, aucun papillon de *D.fovealis* n'a été piégé.

Deux hypothèses soulevées lors des essais de l'an passé, pouvant expliquer ces échecs, peuvent être écartées. La présence de *D.fovealis* a été vérifiée car des lâchers ont été réalisés. De plus, la saison dernière, l'odeur de la colle utilisée pouvait être éventuellement répulsive. Cette hypothèse a été rejetée car cette année les surfaces collantes utilisées sont les mêmes que celles appliquées dans les pièges delta ayant fait leur preuve en matière de piégeage avec les phéromones. Par ailleurs, l'allumage des tubes néons a été programmé et vérifié, les tubes néons fonctionnaient donc aux heures souhaitées.

Tout d'abord, lors du premier test, aucun papillon n'a été piégé sur le dispositif sans néon contre 4 papillons grâce à un tube néon UV-A. Cela montre que les papillons de *D.fovealis* sont attirés par la lumière. Cependant, lors de ce test seulement 9% de piégeage ont été recensés. Plusieurs modifications ont été réalisées afin d'améliorer le dispositif durant les deux autres tests (cf matériel et méthode). Pour le deuxième test, un taux de piégeage de 5% a été calculé, puis, un taux de 11% pour la troisième expérimentation. Enfin le 4^{ème} test, n'ayant piégé aucun papillon, a un taux de piégeage de 0%. Le test 4 réalisé en tunnel non insect-proof a été le moins efficace pour le piégeage de *D.fovealis* suivi du deuxième test, puis du premier et enfin, du troisième test, qui a donné les meilleurs résultats. Cependant, ces résultats restent trop faibles pour être une méthode viable à présenter aux producteurs dans la lutte contre *D.fovealis*.

Plusieurs hypothèses expliquant ces faibles pourcentages ont été soulevées. Premièrement, les papillons voulant se reproduire sont plus attirés par les plantes que par la lumière. En effet, lors du test 1 les plantes de l'essai « plante-piège » ont été laissées avec les pièges lumineux dans un premier temps puis retirées, cependant, cela a pu produire un biais. De plus, à proximité du tunnel insect-proof ainsi que du tunnel servant au quatrième et dernier test se trouvait un tunnel contenant des cultures de plantes aromatiques telles que du thym, des fraisiers, des poivrons, du basilic...etc, reconnues pour attirer *D.fovealis* et où des larves du ravageur ont été retrouvées. Malheureusement, il n'est pas possible de dire si les larves observées sont la conséquence des lâchers réalisés dans les tunnels alentour.

Le tunnel insect-proof ne laisse normalement pas passer les insectes, or, des insectes sont entrés dans le tunnel attirés par la lumière, les papillons lâchés ont donc pu sortir, attirés par les plantes. L'apparition de l'obscurité incite les papillons nocturnes femelles à effectuer leur ponte et à se diriger vers des plantes hôtes (Sambaraju and Phillips, 2008). Les mâles aussi vont s'y diriger afin de s'accoupler avec les femelles. Cela rejoint l'hypothèse que les papillons seraient sortis du tunnel pour se rendre dans le tunnel voisin.

Afin de vérifier que les papillons restent dans le tunnel, une beecam avec capteur infrarouge a été placée dans le dispositif du test 4. Malgré cela, aucun papillon n'a pu être détecté. Deux raisons possibles à cela : soit les papillons du fait de leur petite taille n'ont pas pu être détectés par la caméra et aucune vidéo n'a donc été enregistrée, soit les papillons étaient vraiment sortis. Cette dernière hypothèse ne peut être validée car la beecam s'est peu déclenchée à cause de mouvements or le lendemain beaucoup d'insectes, autres que *D.fovealis* se trouvaient sur les pièges. L'hypothèse que les papillons soient attirés par les plantes et donc sortent du tunnel, n'explique pas le faible taux de piégeage du test 3 car dans ce dispositif aucune plante ne se trouvait dans les environs. La beecam avait un deuxième rôle, qui était de vérifier que les papillons de *D.fovealis* ne tournaient pas autour du tube néon sans se coller au piège. Or, plusieurs lépidoptères se sont piégés, si cette hypothèse est confirmée, au moins quelques papillons de *D.fovealis* auraient été relevés. De plus, une autre hypothèse serait que l'heure et la durée d'allumage n'aient pas convenu pour le piégeage. Cependant, lors du premier test, plusieurs horaires et durées ont été testées mais aucun horaire approprié ne semble se démarquer. Les horaires proposés étaient peut-être trop tôt dans la journée, l'obscurité n'étant pas apparue aux horaires d'allumage des néons. Il faudrait réessayer, de lâcher les papillons plus tard dans la soirée, au crépuscule, lorsque les pièges sont déjà allumés, afin que les papillons soient immédiatement attirés.

Un papillon a été piégé dans le test 2 par le témoin positif, la lampe fonctionnant chez les producteurs, démontrant que les papillons n'ont pas été attirés par cet agencement. De fortes chaleurs ont été relevées dans le tunnel insect-proof, pouvant mener à la mort des papillons expliquant alors le si faible taux de piégeage. Le troisième test étant réalisés dans un local avec des températures plus basses, la mort des papillons à cause de la chaleur peut être écartée pour ce test. Cependant, aucun piège témoin positif n'a été placé dans le test, il est donc impossible de confirmer ou infirmer que les papillons auraient été piégés avec la lampe fonctionnant chez les producteurs. Ce qui amène l'hypothèse suivante, selon laquelle les longueurs d'onde émises par les tubes néons utilisés ne seraient pas parfaitement compatibles avec les récepteurs que possèdent *D.fovealis*. Il existe peu de documentation sur les récepteurs possédés par les Crambidae. La famille la plus proche pour laquelle nous avons des informations est la famille des Pyralidae. Grâce à la publication de Briscoe and Chittka, 2001, il a été montré que dans une même famille, chaque espèce peut avoir des récepteurs à la lumière différents et en nombre différent. Dans ce travail, deux espèces de Pyralidae ont été étudiées, *Galleria mellonella* et *Amyelois transitella*. La première possède un seul récepteur captant la longueur d'onde correspondant à 510nm et la seconde possède trois récepteurs pour l'UV, le bleu et le vert (350,430 et 530 nm) (Briscoe and Chittka, 2001). Les dispositifs des quatre tests sont basés sur les récepteurs que possèdent *Amyelois transitella*.

Les deuxième et troisième essais utilisent un tube néon fonctionnant chez les producteurs, les longueurs d'onde attirent donc *D.fovealis*. La figure 33 montre la correspondance entre les récepteurs possédés par *A. transitella* et les spectres de longueurs d'onde des tubes néons utilisés dans les différents tests.

Le spectre avec le plus de correspondances est le piège électrifié du producteur. C'est aussi celui-ci qui a montré son efficacité en production. Cependant, comme dit précédemment, les récepteurs et leur nombre diffèrent selon les espèces il n'est donc pas possible de se baser à 100% sur les récepteurs de *A.transitella*. Par ailleurs, le piège électrifié du producteur fonctionnant pour le piégeage de *D.fovealis*, il est possible d'en prendre exemple afin de déterminer l'association de longueurs d'onde pouvant attirer *D.fovealis*.

Une bonne correspondance est visible avec les modalités bleu seul, UV-A (référence du producteur) seul, UV-A/bleu/vert et UV-A/bleu, cependant ceux-ci n'ont montré aucun résultat sur *D.fovealis*. Or, ces modalités ne possèdent pas de pics d'intensité plus forte à 350nm cela peut expliquer qu'il y ait peu de résultats, car précédemment il a été montré que les longueurs d'onde courtes étaient celles qui attiraient le plus de papillons nocturnes (Van Langevelde *et al.*, 2011). Si des pics sont visibles aux longueurs d'onde voulues, l'intensité de chaque pic diffère entre les types de tubes néons. En effet, figures 26 et 30, la comparaison entre le spectre du tube néons UV-A (de la même référence qu'une ampoule de producteur donc qui normalement doit fonctionner), et le spectre des tubes néons UV-A compris dans le piège électrifié montre que l'intensité des longueurs d'onde émise n'est pas la même. En effet, les intensités des pics de longueurs d'onde à 430 nm, 540 nm et 570 nm sont 2 à 3 fois plus fortes pour le piège à grille électrifiée plutôt qu'avec les tubes néons UV-A testés. De même le pic d'UV-A à 370 nm a une intensité environ 58 fois plus forte que dans le piège électrifié comparé aux tubes néons UV-A.

La dernière hypothèse développée, est la théorie selon laquelle le dépassement d'un seuil de lumière inhibe le comportement des papillons nocturnes. D'après, Sambaraju and Phillips, 2008, le comportement typique des papillons nocturnes est affecté lorsqu'une luminosité trop élevée est perçue pendant la scotophase, modifiant ainsi la photopériode. Cette hypothèse est possible car les lâchers de *D.fovealis* sont effectués directement dans le tunnel où les tubes néons sont allumés avant l'apparition de l'obscurité, affectant ainsi leur perception de la photopériode et leur comportement de vol. De plus, si d'autres insectes sont retrouvés sur les pièges, cela n'invalide pas la théorie puisqu'ils n'étaient pas présents dans le tunnel lorsque les pièges se sont allumés. Ils ont donc pu percevoir l'obscurité qui a activé leur vol de nuit. Cependant, ne connaissant pas ce seuil, il est impossible de déterminer si celui -ci a été dépassé ou non.

Lors du test 4, plusieurs individus se sont piégés sur les surfaces collantes, ils ont par la suite été identifiés. Ainsi des modalités piégeant beaucoup d'insectes auxiliaires ne vont pas être intéressantes, puisque l'objectif de la PBI est de favoriser ces insectes, alors que des modalités piégeant beaucoup de petits papillons du groupe des pyrales et des tordeuses seront intéressantes car ils sont proches phylogénétiquement de *D.fovealis*. Cependant, ce sont ces mêmes modalités qui attirent beaucoup d'insectes auxiliaires telles que les chrysopes, les staphylins ou bien, plus rarement, les coccinelles. Cela peut être dû à la très grosse part d'UV-A présente dans les spectres de ces modalités, l'UV-A étant reconnu pour piéger la plupart des insectes.

Le fait d'avoir combiné plusieurs longueurs d'onde a augmenté le nombre d'individus mais n'est pas spécifique au groupe des pyrales et des tordeuses, comme il était souhaité. Ces modalités, même si elles avaient piégé *D.fovealis*, doivent être retirées des solutions potentielles ou améliorées car elles diminuent le réservoir d'insectes bénéfiques, cela allant à l'encontre de la protection biologique intégrée.

Pour le moment, il est impossible de tirer une quelconque information sur le piégeage spécifique d'un sexe avec 4 mâles contre 6 femelles. Cependant, des femelles ont été piégés, contrairement aux pièges à phéromone ne piégeant que les mâles cela pourrait être une solution intéressante, si le taux de piégeage est amélioré.

Pour la suite, les néons bleus, les néons UV-A seul, UV-A/B et UV-A/B/V peuvent être sélectionnés car ils piègent le plus d'insectes de la super famille des Pyraloidea. En effet, le néon bleu seul est particulièrement intéressant car il piége moins d'insectes auxiliaires ou « non -cibles » que les deux autres. Il faudrait les re-tester à la station avec des locaux bien fermés et sans perturber les papillons. C'est-à-dire faire des lâchers de papillons pendant la période d'activité de ceux-ci et allumer les pièges au crépuscule, afin qu'ils puissent commencer leur vol. Cependant, un local fermé et complètement hermétique n'est pas possible, de plus, cela ne représente pas les conditions chez les producteurs. Il faudrait donc les insérer dans les cultures sensibles à *Duponchelia fovealis* directement chez le producteur, afin de voir les effets sur le ravageur mais aussi sur les insectes auxiliaires. Les insectes piégés devront être identifiés afin de connaître le rôle écologique de chacun, surtout pour les coléoptères qui suivant l'espèce peuvent être insectes nuisibles ou insectes bénéfiques. Les néons devront être allumés au crépuscule pour ne pas perturber la photopériode des papillons, ainsi les vols des papillons seront déclenchés avant que les néons ne s'allument. De plus, si l'intensité lumineuse n'est pas suffisante plusieurs néons du même type peuvent être couplés, essentiellement pour le néon UV-A (référence du producteur). Afin de valider le test, un piège sans néon ou avec un néon rouge pourront être utilisés en témoin négatif, et un piège électrifié fera office de témoin positif (des lâchers ne pouvant pas être faits, il faudra donc un piège permettant de vérifier la présence de *D.fovealis*).

6. Conclusions et perspectives

Duponchelia fovealis est un papillon nocturne, ravageur de plantes ornementales diverses. Ces dernières années, son émergence a causé de grosses pertes de production aux horticulteurs. L'objectif de cette étude est donc d'établir un itinéraire technique favorisant les méthodes alternatives pour lutter contre *D.fovealis*. Pour cela, deux leviers d'action ont été testés, les pièges lumineux ainsi que les plantes pièges.

Les essais de pièges lumineux n'ont pas donné de résultats concrets sur un type de piège et une/des longueurs d'onde efficace pour le piégeage de *D.fovealis*. En effet, des données sur les récepteurs oculaires possédés par le ravageur ou sa famille (Crambidae) manquent pour adapter au mieux les longueurs d'onde.

Certaines longueurs d'onde testées devront être réutilisées chez un producteur afin d'avoir des résultats viables, la méthode de lâchers des papillons ainsi que le moment où les néons sont allumés perturbant trop leur comportement.

Les longueurs d'onde faisant intervenir une grande part d'UV-A ont permis de piéger des insectes de la super-famille des Pyraloidea. Cependant, des insectes auxiliaires sont aussi piégés, tels que les staphylin. Aujourd'hui, aucune solution, autre que les pièges UV à grilles électrifiées déjà utilisés en production, n'a montré d'effet favorable contre ce ravageur. Des tests comparant le piège utilisé en production et le piège potentiel devront être réalisés afin d'obtenir une meilleure solution que celles existantes.

Les essais permettant de déterminer une plante piège sont plutôt concluants. En effet, *D.fovealis* semble être attiré préférentiellement vers les heuchères plutôt que les autres espèces de plantes testées. De plus, le cyclamen est connu comme la culture la plus sensible. Lors de ces tests les heuchères sont aussi plus infestées que les cyclamens. Ce résultat est encourageant, cette espèce de plante a donc été sélectionnée. Deux variétés d'heuchères sont introduites dans une culture de cyclamen. Après un mois de notation chaque semaine, les heuchères présentent beaucoup plus d'œufs et de larves que les cyclamens. L'heuchère semble donc être une plante-piège efficace. Cependant, l'essai doit continuer dans le temps afin de déterminer si les heuchères sont toujours efficaces malgré le développement et la floraison des cyclamens. De plus, il faut gérer les œufs et larves sur les heuchères une fois attaquées. Pour cela, des tests utilisant des insectes et acariens auxiliaires ou des micro-organismes présents sur le marché du biocontrôle vont être testés par la suite.

Le parasitoïde *Campoletis crassicornis* a été identifié d'après des individus prélevés chez les producteurs l'année dernière. Cependant, peu d'individus ont été retrouvés cette année, ne permettant pas de réaliser des essais biologiques sur cet insecte. De plus, n'ayant pas de population, aucun test de parasitisme n'a pu être réalisé afin de diminuer les populations. Cela aurait pu être testé sur les heuchères afin de gérer les populations de *D.fovealis*. Aucune donnée de parasitisme ou biologique spécifique à cette espèce n'est recensée dans la littérature ce qui ne permet pas de favoriser ce parasitoïde si mal connu.

Afin de présenter cette solution aux producteurs, des données telles que la fréquence de changement des plantes ainsi que la densité de plantes dans leurs productions devront être déterminées.

L'addition des différents leviers de lutte contre *D.fovealis* en production peut être testée. En effet, les pièges lumineux peuvent être utilisés afin de surveiller les vols des adultes et des plantes pièges afin de concentrer les populations sur les mêmes plantes. De plus, un cortège d'auxiliaires est nécessaire afin de diminuer les populations de *D.fovealis* sur les plantes pièges.

7. Bibliographie et Sitographie

Articles

- Bates AJ, Sadler JP, Everett G, et al.** (2013). Assessing the value of the Garden Moth Scheme citizen science dataset: how does light trap type affect catch? *Entomologia Experimentalis et Applicata* **146**, 386–397.
- Blok C, Messelink G** (2009). Improving Control of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Pyralidae) by Rooting Media Related Strategies. *Acta Horticulturae* **819**, 6
- Brambila J, Stocks I.** (2010). The European Pepper Moth, *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae), a Mediterranean Pest Moth Discovered in Central Florida. Pest alert, 4 p.
- Brehm G.** (2017). A new LED lamp for the collection of nocturnal Lepidoptera and a spectral comparison of light-trapping lamps. *Nota Lepidopterologica* **40**, 87–108.
- Briscoe AD, Chittka L.** 2001. The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology* **46**, 471–510.
- Burks CS, Higbee BS, Beck JJ.** (2020). Traps and Attractants for Monitoring Navel Orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) in the Presence of Mating Disruption (J Lee, Ed.). *Journal of Economic Entomology* **XX**, 1–9
- Di Giovanni F, Riedel M.** (2017). New records of Campopleginae for Italy (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Fragmenta Entomologica* **49**, 109–114.
- Efil L, Özgür O, Efil F** (2014). A new pest, *Duponchelia fovealis* Zeller, on strawberries in Turkey – damage, distribution and parazitoid. *Journal of Entomology and Zoology Studies* **2**, 7 p.
- Eggleton P, Belshaw R** (1992). Insect parasitoids: an evolutionary overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **337**, 1–20.
- Eguchi E, Watanabe K, Hariyama T, Yamamoto K.** (1982). A comparison of electrophysiologically determined spectral responses in 35 species of Lepidoptera. *Journal of Insect Physiology* **28**, 675–682.
- Gupta RK, Raj D, Devi N.** (2004). Biological and Impact Assessment Studies on *Camptolexis chlorideae* Uchida: A Promising Solitary Larval Endoparasitoid of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Journal of Asia-Pacific Entomology* **7**, 239–247.
- Infusino M, Brehm G, Di Marco C, Scalercio S.** (2017). Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera).pdf. *European journal of entomology* **114**, 25–33.
- Jonason D, Franzén M, Ranius T.** (2014). Surveying Moths Using Light Traps: Effects of Weather and Time of Year (RM Brigham, Ed.). *PLoS ONE* **9**, 1–7.
- Kovács A, Hunyadi I, Fejes-Toth A, Fejes-Toth P, Hari K, Sipos K, Ladanyi M, Karpati Z, Penzes B.** (2014). A pontuszi tűzmoly [*Duponchelia fovealis* (Zeller)] tápnövényválasztásának viselkedési és elektrofiziológiai vizsgálata. *NÖVÉNYVÉDELEM* **50**, 357–364.
- Messelink G, Van Wensveen W** (2003). Biocontrol of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera:Pyralidae) With Soil-Dwelling Predators In Potted Plants. *Comm. Appl. Biol. Sci* **68**, 159–165.
- Molnár PB, Bognár C, Erdei AL, Fujii T, Vági P, Jósvai JK, Kárpáti Z** (2018). Identification of the Female-Produced Sex Pheromone of an Invasive Greenhouse Pest, the European Pepper Moth (*Duponchelia fovealis*). *Journal of Chemical Ecology* **44**, 257–267.

Murillo H, Hunt DWA, VanLaerhoven SL(2013). Host suitability and fitness-related parameters of *Campoletis sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae) as a parasitoid of the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Control* **64**, 10–15.

Paes JPP, Lima VLS, Pratissoli D, Carvalho JR, Pirovani VD, Bueno RCOF (2018). Thermal requirements, development and number of generations of *Duponchelia fovealis* (Zeller) (Lepidoptera: Crambidae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **90**, 2447–2457.

Reardon BJ, Sumerford DV, Sappington TW. (2006). Impact of Trap Design, Windbreaks, and Weather on Captures of European Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae) in Pheromone-Baited Traps. *Journal of Economic Entomology* **99**, 2002–2009.

Riedel M (2017). Die westpaläarktischen Arten der Gattung *Campoletis* Förster. *SPIXIANA* **40**, 95–137.

Sambaraju KR, Phillips TW (2008). Responses of Adult *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to Light and Combinations of Attractants and Light. *Journal of Insect Behavior* **21**, 422–439.

Sun Y-L, Dong J-F, Huang L-Q, Wang C-Z. 2019a. The cotton bollworm endoparasitoid *Campoletis chlorideae* is attracted by cis-jasmone or cis-3-hexenyl acetate but not by their mixtures. *Arthropod-Plant Interactions*, 11p.

Sun Y-L, Dong J-F, Ning C, Ding P-P, Huang L-Q, Sun J-G, Wang C-Z. 2019b. An odorant receptor mediates the attractiveness of cis-jasmone to *Campoletis chlorideae*, the endoparasitoid of *Helicoverpa armigera*: The odorant receptor for cis-jasmone in a parasitoid. *Insect Molecular Biology* **28**, 23–34.

Tourtois J, Grieshop M. 2015. Susceptibility of *Dalotia coriaria* (Kraatz) (Coleoptera: Staphylinidae) to Entomopathogenic Nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae). *Insects* **6**(1), 224–235.

Van der Mey B, Bethke JA. 2011. Efficacy Of Selected Insecticides Against The European Pepper Moth, *Duponchelia fovealis*, On Verbena Grown Outdoors, 2010. *Arthropod Management Tests* **36**, 1.

Van Deventer P. 2009. Water trap is the best for catching Duponchelia. *FlowerTECH* **12**, 18–19.

Van Langevelde F, Ettema JA, Donners M, WallisDeVries MF, Groenendijk D. 2011. Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation* **144**, 2274–2281.

Vas Z. 2019. Contributions to the taxonomy, identification, and biogeography of the Western Palaearctic species of *Campoletis* Förster (Ichneumonidae: Campopleginae). *Zootaxa* **4565**, 373–382.

White J. 2012. The European Pepper Moth, *Duponchelia fovealis* UK Cooperative Extension Service. *Greenhouse Pest Alert* **324**(2), 2 p.

Zawadneak MAC, Gonçalves RB, Pimentel IC, Schuber JM, Santos B, Poltronieri AS, Solis MA. 2016. First record of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) in South America. *Idesia (Arica)* **34**, 91–95.

Zawadneak MAC, Goncalves RB, Poltronieri AS, Santos B, Bischoff AM, Borba AM, Pimentel IC. 2017. Biological parameters of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) reared in the laboratory on two diets. *European Journal of Entomology* **114**, 291–294.

Documents

Bethke J, Vander Mey B, Waterworth R (2014). Life History and Control of the European Pepper Moth. Entomological Society of America Annual Meeting, Oregon Convention Center Portland, 15-19 novembre 2014, 1-24

Bethke J, Hara A, Osborne L, McKenzie C, Palmer C (2017). Developing sustainable methods for controlling invasive pests pre- and post-invasion on ornamental cuttings and plants. The IR-4 project, San Diego, 76p. 11-8130-0049-CA, 12-8130-0173-CA, 13-8130-0276-CA.

Bethke JA, Vander Mey B, Dara S (2015). Invasives of Concern — *Duponchelia*, Bagrada bug and More. Society of american Florists Pest and Production Management Conference, Westin San Francisco Airport, Février 2013, 5p

Bodart C, Dauffouis S, Faure Beaulieu T, et al. (2018). Les plantes de services. Angers, ECOPHYTO SIVAL, 2018, 13p

Jaloux B. (2017). Biologie et écologie des prédateurs et parasitoïdes. Cours méthode de lutte, Angers, 2020, 50 p

Hebbinckuys T(2018). Système DEPHY : Poinsettia Innovant. Site ASTREDHOR station des Pays de la Loire, 2018. 5p

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie. (2015). Plan ECOPHYTO II 67p

Stocks SD, Hodges A. (2011). European Pepper Moth or Southern European Marsh Pyralid *Duponchelia fovealis* (Zeller). University of California: IFAS Exetension University of Florida, 2011, 10 p ; EENY-508.

Sites

ANSES (2018). E-Phy - Acephate.[03/04/2020]/ <https://ephy.anses.fr/substance/acephate>

ASTREDHOR Institut Technique de l'Horticulture. (2018) Présentation de l'Astredhor et de l'Arexhor Pays de la Loire.[01/04/2020]/ <https://www.astredhor.fr>

BRUOT N. (2016). Comment voit-on les couleurs ?. [31/08/2020]/ https://fr.science-questions.org/questions_de_science/161/Comment_voit-on_les_couleurs_/

CABI (2020). Distributions Maps Campoletis chloridae. [10/04/2020]/ <https://www.cabi.org/isc/datasheet/11089#toDistributionMap>

European Commission (2016). EU Pesticides database.[03/04/2020]/<https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=pesticide.residue.CurrentMRL&language=EN&pestResidueId=2037>

Fraval A. (1999). Insectes auxiliaires : la lutte biologique.[10/04/2020]/<http://www7.inra.fr/opie-insectes/luttebio.html>

IRAC (2020). IRAC Mode of Action Classification Online. [26/08/2020]/ <https://irac-online.org/modes-of-action/>

MA Carré. (2020). Le biocontrôle représente 11 % du marché de la protection des plantes. Réussir - Nourrir votre performance.[17/07/2020]/<https://www.reussir.fr/le-biocontrole-represente-11-du-marche-de-la-protection-des-plantes>

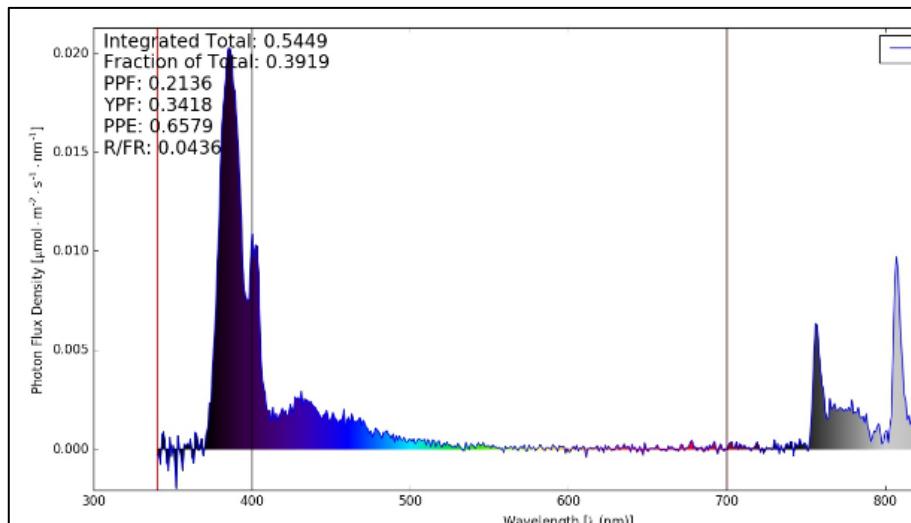
Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation. (2020). Qu'est-ce que le biocontrôle ? Alim'Agri.[10/06/2020] <https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-le-biocontrole>

Myers P, Espinosa R, Parr CS, Hammond GS, Dewey TA. (2020). The Animal Diversity Web.[10/04/2020]/ <https://animaldiversity.org/accounts/Campoletis/classification/>

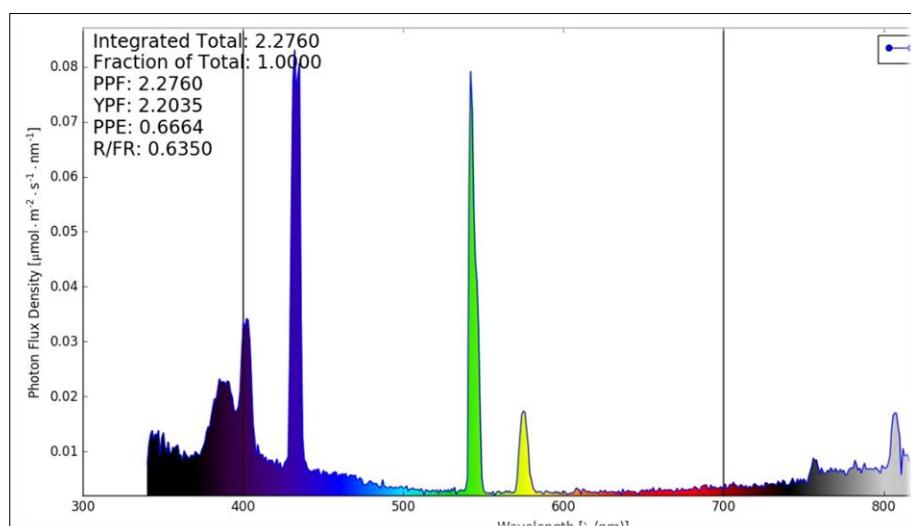
ANNEXE I : Echelle de notation des cyclamens

Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Pas de dégât 	Présence de <i>Duponchelia fovealis</i> mais pas de dégât	Bulbe grignoté mais la plante se porte bien	Bulbe grignoté plante dépérit feuilles tombantes	Mort de la plante

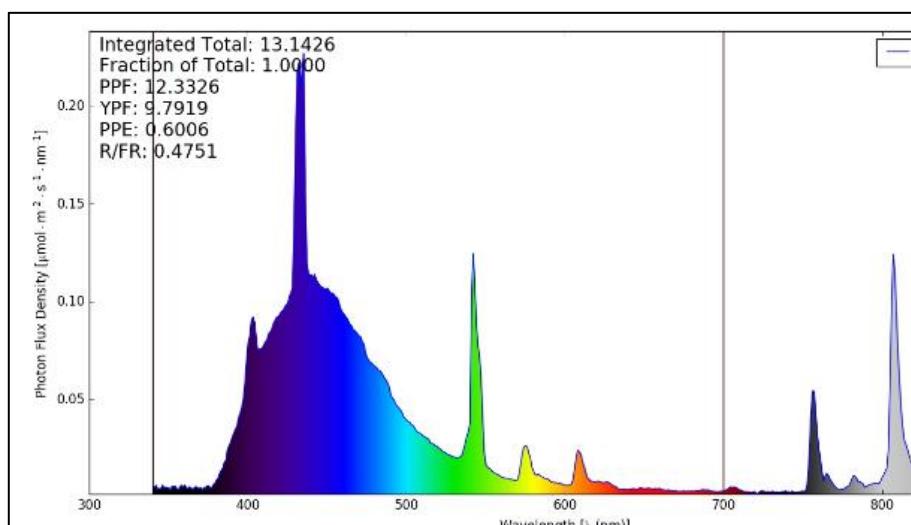
ANNEXE II : Spectres de longueurs d'onde des tubes néons utilisés lors de l'essais piégeage lumineux.



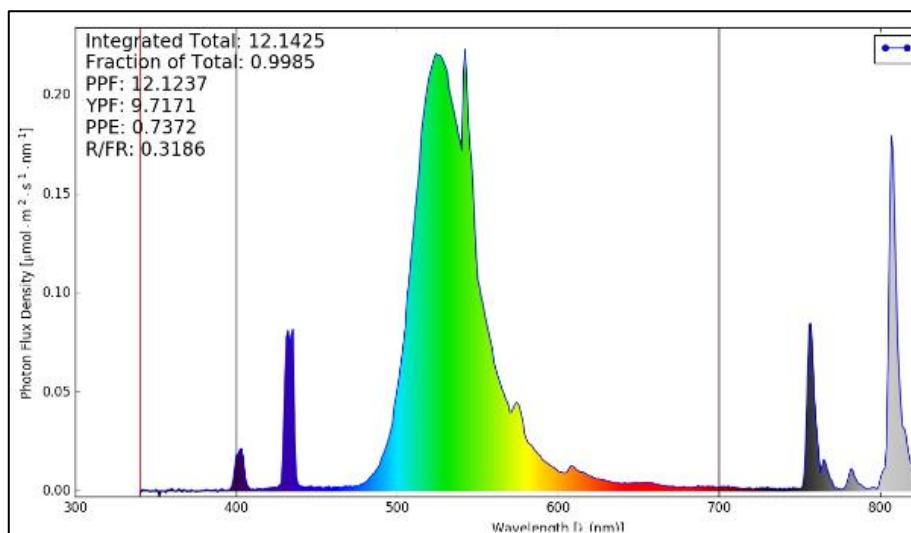
Spectre des tubes fluorescents UV-A



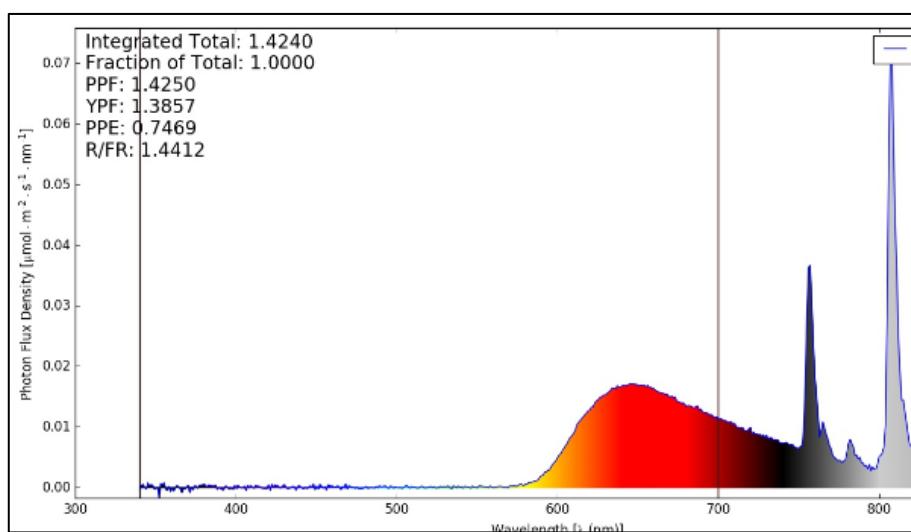
Spectre des tubes fluorescents UV-A (Référence producteur)



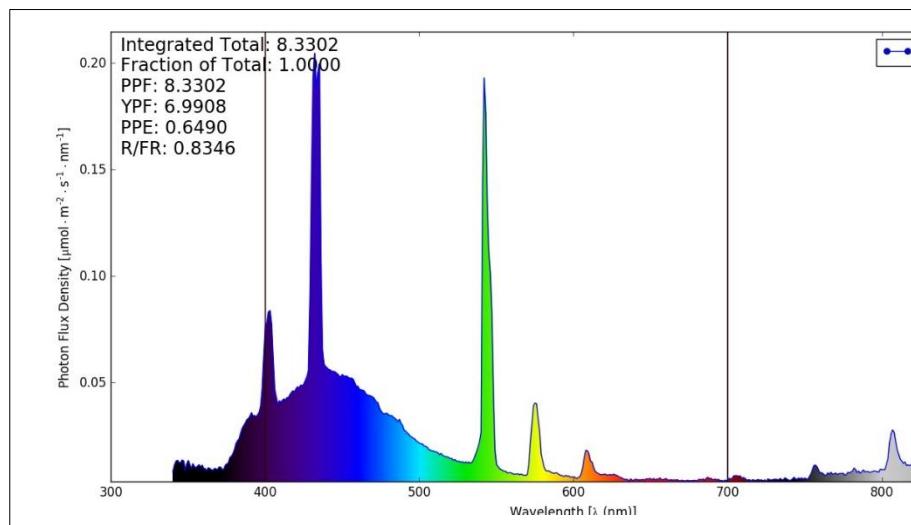
Spectre des tubes fluorescents bleus



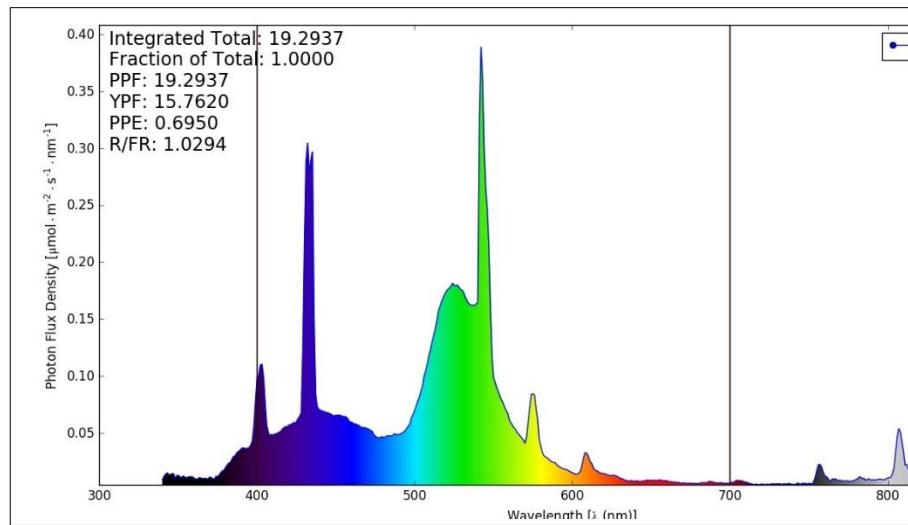
Spectre des tubes fluorescents verts



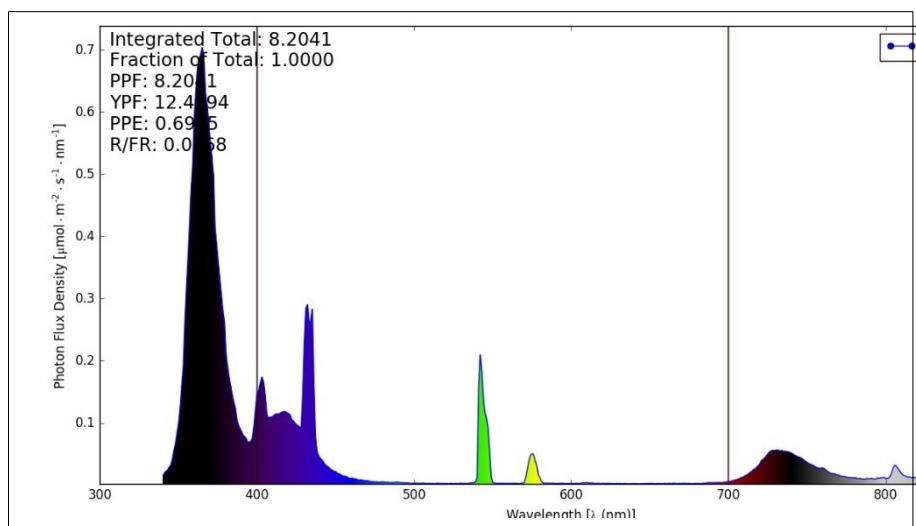
Spectre des tubes fluorescents rouges



Spectre des tubes fluorescents UV-A (producteurs) + Bleu



Spectre des tubes fluorescents UV-A (producteurs) + Bleu + vert



Spectre du piège électrifié fonctionnant chez les producteurs

ANNEXE III : Exemple statistique de l'ANOVA sur le test de plusieurs plantes pièges.

Tableau d'analyse de la variance

source	Df	Sum_Sq	Mean_Sq	F_value	p_value	Signif
bloc	2	10,98	5,49	1,10	0,38	NS
fact1	4	209,89	52,47	10,54	4,36E-03	**
Residuals	7	34,86	4,98			

Variabilité

ETR	CVR
2,23	58,30

Modèle d'analyse de la variance

Y=bloc+fact1

15. Comparaisons de moyennes (Test de Tukey)

Facteur1

Groupes homogènes

modalite	moy_ajust	GH_5pct
heuchere	11,00	a.
kalanchoe	3,33	.b
thym	3,13	.b
geranium	1,00	.b
Cyclamen	0,67	.b

PPDS

6,914755

ANNEXE IV : Exemple statistique d'un test de Mann-Whitney sur le test en culture de cyclamens.

Résultats du test

- Données série 1: 8L x 1C, série 2: 72L x 1C
 - Méthode : Wilcoxon rank sum test with continuity correction; Alternative :two.sided
 - Statistique observée Qobs : 465
 - p-value : 7.6700354376849E-9
 - Degré de liberté :

La valeur p (p-value) de votre test est 7.6700354376849E-9.

Commande R

    l'institut Agro agriculture • alimentation • environnement	<p>Diplôme: Master Mention : Biologie Végétale (BV) Parcours : Gestion de la Santé des Plantes</p>
Auteur(s) : Amélie Baillou Date de naissance* : 11/08/1997	Organisme d'accueil : Arexhor Pays de la Loire Adresse : 1 rue des Magnolias 49130 Les Ponts-de-Cé
Nb pages : 31 Annexe(s) : 4 Année de soutenance : 2020	Maître de stage : Tom Hebbinkuy
<p>Titre français : Optimisation du contrôle du papillon ravageur <i>Duponchelia fovealis</i> Zeller, 1847 (Lepidoptera: Crambidae) en horticulture.</p> <p>Titre anglais : Abstract : Optimization of the control of the moth <i>Duponchelia fovealis</i> Zeller, 1847 (Lepidoptera : Crambidae) in horticulture.</p>	
<p><i>Duponchelia fovealis</i> est un papillon nocturne, ravageur de nombreuses cultures ornementales. C'est un insecte émergent dans nos régions. Les insecticides ont peu d'effet sur les larves car elles se trouvent dans le substrat. Il est donc important de rechercher des méthodes de lutte contre ce ravageur. Ce rapport étudie plusieurs thèmes tels que les pièges lumineux et les plantes piéges. Afin de déterminer une plante - piège efficace, plusieurs espèces de plantes ont été testées. L'heuchère pourpre est l'espèce qui a montré les meilleures résultats. Deux variétés d'heuchères ont été introduites dans une culture de cyclamens, culture très sensible à <i>D.fovealis</i>. D'après les premiers résultats, le ravageur infeste préférentiellement les heuchères plutôt que les cyclamens. Lors des tests de pièges lumineux plusieurs associations de longueurs d'onde ont été testées afin de trouver un piège approprié pour piéger, de manière spécifique, le ravageur sans piéger les insectes auxiliaires. De plus, ce type de piégeage est intéressant car il permet, contrairement aux pièges à phéromones, de piéger les femelles ainsi que les mâles. Cependant, aucune longueur d'onde n'a montré un taux de piégeage intéressant. Le taux de piégeage moyen étant de 9%, aucun résultat ne peut en être tiré. Le parasitoïde <i>Campoletis crassicornis</i> a été identifié grâce à des individus prélevés sur le terrain. C'est un parasitoïde présent de manière spontanée dans l'environnement. Il s'attaque aux larves ainsi qu'aux cocons. Peu d'individus ont été récoltés cette année aucun essai n'a pu être réalisé. Peu de connaissances ont été acquises sur cet insecte.</p>	
<p><i>Duponchelia fovealis</i> is a moth, pest of many ornamental crops. It's an emergent insect in our regions. Insecticides have little effect on larvae because they are in the substrate. It is therefore important to research controlling methods of this pest. This report examines several themes such as light traps and trap plants. In order to determine an effective trap plant, several species of plants were tested. The purple heuchera is the species which has shown the best results. Two varieties of heucheras were introduced into cyclamen crops, which is very sensitive to <i>D.fovealis</i>. Initial results show that the pest preferentially infests heucheras rather than cyclamen. In the light trap tests several combinations of wavelengths were tested in order to find a suitable trap, to capture specifically the pest without trapping the auxiliary insects. In addition, this type of trapping is interesting because it allows, unlike pheromone traps, to trap females as well as males. However, no length showed an interesting trapping rate. Since the average trapping rate is 9%, no result can be obtained. The parasitoid <i>Campoletis crassicornis</i> has been identified through individuals collected in the field. It is a parasitoid that occurs spontaneously in the environment. It attacks larvae as well as cocoons. Few individuals have been collected this year and no test could be carried out. Little has been learned about this insect.</p>	
<p>Mots-clés : <i>Duponchelia fovealis</i>, Crambidae, nocturne, ravageurs, piégeage, plantes-pièges, <i>Cyclamen sp</i>, <i>Heuchera sp</i>, pièges lumineux, parasitoïdes, <i>Campoletis sp</i>.</p> <p>Key Words: <i>Duponchelia fovealis</i>, Crambidae, nocturnal, pests, trapping, trap-plant, <i>Cyclamen sp</i>, <i>Heuchera sp</i>, light-trap, parasitoids, <i>Campoletis sp</i></p>	